

**Diagnóstico sobre los niveles de cromo hexavalente (cr+6) en el tramo iv del río
Tunjuelito.**

Johanna Camacho Sanchez

Proyecto aplicado presentado como requisito para optar al título de:

Director: Carlos Andrés Fajardo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental

Ingeniera Ambiental

Bogotá, Colombia

Agradecimientos

Para Luis Alejandro Sandoval; la persona que sin pedir nada a cambio me brindo toda ayuda física, moral y espiritual para que yo siguiera mi sueño cuando nadie creía en mí. Para él, quien hubiera sido el más feliz de ver concluido un ciclo tan importante en mi vida. Le agradezco por al apoyo incondicional; gracias, aunque ya no nos acompañe en este mundo terrenal, valoré y reconocí su apoyo en todo el ciclo académico.

A Gloria Esperanza Sanchez y José Nelson Camacho por la crianza y por la educación que me brindaron.

A Carlos Andrés Fajardo, mi director de tesis, por su paciencia y colaboración en la ejecución de mi tesis.

Resumen

El Río Tunjuelito nace en el oriente de Bogotá, industrias como las curtiembres y empresas de cromado vierten sus aguas residuales al Río las cuales tienen un alto contenido de Cr, afectando la vida acuática y lo cual marca un incumplimiento de la norma.

Las sales de cromo son un insumo usado en los procesos más importantes en el curtido del cuero ya que gracias a esto se les da la coloración. El cromo Hexavalente es un metal pesado que se bioacumula en los seres vivos debido a su densidad, por medio del presente trabajo se determinó las concentraciones del cromo hexavalente en el tramo IV del río Tunjuelito.

Para conocer la situación del río Tunjuelito se solicitó por medio de las diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales datos sobre el cromo hexavalente, la entidad encargada del monitoreo y gestión del Río Tunjuelito es la Secretaria Distrital de Ambiente, la cual envió datos del cromo total de los 4 puntos de muestreo del tramo IV, estos son Makro Sur, Transversal 86, Puente la independencia e Isla Potón San José. Los promedios por aproximadamente 10 años en cromo total son de 0,19 mg/l, 0,48 mg/l, 0,65 mg/l y 0,19 mg/l.

El 16 de diciembre se realizó el recorrido del Río Tunjuelito donde se establecieron los puntos óptimos de monitoreo, estos fueron Makro de la Autopista Sur, Transversal 86, San Bernardino XVIII y la desembocadura en el Río Bogotá, después de determinar los puntos de muestreo se realizó la digestión de los sedimentos en medio ácido para concentrar el Cr^{+6} y eliminar interferencias, posteriormente se analizó por medio del espectrofotómetro, donde se encontraron los siguientes parámetros: 0,970 mg/l para Makro Sur, 0,413 mg/l para la Carrera 86, 0,623 mg/l para el Puente San Bernardino XVIII y de 0,371 mg/l para la desembocadura del río Tunjuelito

Durante la toma de las muestras, se evidenció que la variación del caudal y la formación del lecho del río influyen directamente en la misma, ya que a mayor caudal y compactación del lecho es obviamente más difícil la toma de los sedimentos, ejemplo de esto fue el tramo de la carrera 86

donde fue más difícil la toma de la muestra y donde los resultados fueron anormales a las tendencias siendo el segundo más bajo con 0,413 mg/l.

Abstract

Tunjuelito river born to Est of Bogotá, industries whit the tanneries and companies of chrome plated pour residual water in the river this have a high content of Cr, affect aquatic life and uncomplimented of lawyers.

In tanneries leather the chromium salt are a input be used in the process more important, this process generate the color to leather, Hexavalent chromium is a heavy metal that is bioaccumulating in living beings due to its density, in this thesis the concentration of hexavalent chromium was determined in the section IV of the river Tunjuelito.

For to know the situation the Tunjuelito river was requested dates of hexavalent chromium to deferent governmental entities and no governmental, the Secretaria Distrital de Ambiente is the entities in charge of monitoring and management the Tunjuelito river, this entity send the dates of total chromium of monitoring of 4 points of section IV, these are Makro Sur, Transversal 86, Puente la independencia e Isla Potón San José. The average of Total chromium of last years, these dates was 0,19 mg/l for Makro Sur, 0,48 mg/l for Carrera 86, 0,65 mg/l for San Bernardino XVIII bridge and 0,19 mg/l for river mouth.

In December 16th the tour of the river Tunjuelito was made where it was established the optimum sections for the monitoring, these was Makro Sur, Transversal 86, San Bernardino XVIII and the mouth of Bogotá river, after finishing the monitoring points was take the acid digestion of sediments for Cr+6 concentrate and remove interference, later it was analyzed for the spectrophotometer, where was found the following parameters: 0,97 mg/l for Makro Sur, 0,413 mg/l for Carrera 86, 0,623 mg/l for San Bernardino XVIII bridge and 0,371 mg/l for river mouth.

During the take of test, evidenced that flow and river of bed have a directly influence in the same, because to major flow and river bed compacted is more difficult logically at the take of sediment. Example was the stretch of street 86 where was more difficult the take of the test and where the result was abnormal to the trend being the second result more down whit 0,413 mg/l.

Tabla De Contenido

Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract.....	5
Lista De Tablas	11
Listado De Ilustraciones	12
Listado De Gráficas	13
Glosario	14
Introducción.....	16
Planteamiento Del Problema	17
Justificación	21
Objetivos.....	23
Objetivo General.....	23
Objetivos Específicos	23
Marco Teórico	24
Área de estudio	24
Química Del Cromo Hexavalente.....	27
Cromo Hexavalente En El Ambiente.....	27
Monitoreo De Sedimentos	28
Estado Del Arte	28

Antecedentes:	29
Industrias Contaminantes En El Tramo VI:	30
Cromo Hexavalente:	30
Cromo Hexavalente En Aguas Superficiales:	31
Niveles de Cromo hexavalente en el Río Tunjuelito según entidades gubernamentales	34
METODOLOGÍA.....	37
Toma de las muestras.....	37
Determinación del Cr+6.....	41
<i>Curva de calibración.....</i>	42
<i>Análisis de las muestras.....</i>	42
Método de digestión sedimentos en medio ácido.....	42
<i>Solución patrón de cromo hexavalente.....</i>	43
<i>Solución de difenilcarbazida al 0,5%.....</i>	43
<i>Solución ácido sulfúrico H₂SO₄ al 50%.....</i>	43
<i>Curva de calibración</i>	43
<i>Determinación de cromo hexavalente con difenilcarbazida.....</i>	44
<i>Preparar el blanco con agua.....</i>	44
<i>Digestión de sedimentos en medio ácido.....</i>	45
<i>Muestra Control.....</i>	46
Determinación de pH, Alcalinidad y Conductividad.....	46

<i>Determinación de pH.</i>	46
<i>Alcalinidad.</i>	47
Resultados Y Análisis De Los Resultados	48
Ruta De Monitoreo	48
<i>Desarrollo y demarcación de la ruta para realizar la toma de muestreas del río tunjuelito.</i>	49
Evidencia Del Impacto Ambiental.....	52
Toma De Las Muestras.	55
Medición De Ph Y Relación.	58
Alcalinidad.....	58
Curva De Calibración.	60
Análisis De Muestra De Agua.	62
Digestión De La Muestra.....	62
Conclusiones.....	67
Recomendaciones	70
Bibliografía.....	71
ANEXOS	76
Anexo 1.	76
Anexo 2	79
Anexo 3	81

Lista De Tablas

Tabla 1. Estación TU-MakroS.....	35
Tabla 2. Estación TU-Tv86	35
Tabla 3. Estación TU-PteInde	36
Tabla 4. Estación TU-IslaPon.....	36
Tabla 5. Puntos de Monitoreo	49
Tabla 6. Características Físicas de los Puntos de Muestreo	55
Tabla 7. Medición de pH.	58
Tabla 8. Alcalinidad	59
Tabla 9 Caudal vs dureza.....	60
Tabla 10. Conductividad	60
Tabla 11. Concentraciones para Curva de Calibración	61
Tabla 12. Concentración en Muestra de Agua Makro Sur.	62
Tabla 13. Análisis de Muestras	63

Listado De Ilustraciones

Ilustración 1. Secretaria Distrital de Ambiente, (2007), VI fase de seguimiento de efluentes industriales y corrientes superficiales de Bogotá D.C, [Figura], recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/013726/VIFase.pdf	18
Ilustración 2. Google Earth, Del Autor.	38
Ilustración 3. Recipiente Para la Toma de la Muestra.....	40
Ilustración 4. Toma de Muestra de sedimentos Makro Sur y Toma de muestra San Bernardino XVIII, del Autor.....	41
Ilustración 5. Digestión de Lodos.....	46
Ilustración 6. Recorrido por el Río Tunjuelito, aplicación Strava, fuente propia.....	51
Ilustración 7. Puntos de Muestreo, Google Earth.....	52
Ilustración 8. Irrigación con aguas del Río Tunjuelito, del autor.	54
Ilustración 9. Canal para riego de los cultivos. del autor.	54
Ilustración 10. Cultivo de acelgas. Del Autor.	54
Ilustración 11. Pastoreo. Del Autor.....	55
Ilustración 12. Determinación de Alcalinidad.....	59
Ilustración 13. Caudal.....	66

Listado De Gráficas

Gráfica 1. Curva de calibración	61
Gráfica 2. Concentraciones de Puntos de muestreo.	64

Glosario

Alcalinidad: Es la capacidad que tiene el agua por medio de la suma de sus bases titulables para neutralizar los ácidos.

ATSDR: La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades ATSDR por sus siglas en inglés Agency for Toxic Substances and Disease Registry, es la agencia de salud que se encarga de los estudios de sustancias tóxicas en forma natural o antrópica que puedan afectar al ser humano y/o al ambiente con el fin de mejorar la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia y cuidar la salud de la comunidad.

Conductividad: Capacidad de una sustancia de conducir electricidad, en el agua, entre mayor cantidad de iones mayor conductividad.

Concentraciones: Medida de la cantidad de soluto que se encuentra en una solución.

Contaminante: Sustancia o compuestos de origen antrópico o natural que son ajenos al ambiente y que causan daños adversos al medio y a la salud.

Cociente de peligro (HQ): Es el nivel de toxicidad que no supera los efectos adversos en el organismo que lo consume.

Cromo: El cromo es un elemento metálico inodoro e insípido que se extrae como cromita para luego ser procesado en compuestos de cromo, la densidad del cromo es de $7,2 \text{ g/cm}^3$.

Cromo Hexavalente: El cromo hexavalente (Cr^{+6}) es el estado de oxidación más tóxico del cromo, en la metalurgia tiene grandes beneficios como resistencia a la corrosión durabilidad y dureza, también para curtido de pieles, pigmentos y conservantes para madera, en la salud y el ambiente causa graves efectos

Curtido: Proceso físico-químico al que se somete el cuero para conservar su estructura natural para luego ser procesado en vestido, calzado y accesorios.

Espectrofotómetro: Dispositivo usado para medir sustancias contaminantes por medio de la absorbancia de la longitud de onda.

Metales pesados: Son elementos químicos que presentan una densidad mayor de $4,5 \text{ g/cm}^3$ y son altamente tóxicos en concentraciones bajas para el ambiente y la salud.

Oxidación: Es la pérdida de electrones de un átomo, ion o molécula que aumenta el estado de oxidación.

pH: Potencial de hidrogeniones que determina la alcalinidad o basicidad de una sustancia.

Reducción: Ganancia de electrones de un átomo, ion o molécula que disminuye el estado de oxidación.

Introducción

La primera vez que se realizó la publicación de la tabla periódica de los elementos fue en el año 1869 por el químico Ruso Dmitri Mendeléyev quien también predijo con gran precisión las propiedades de algunos elementos que no se encontraban en ella, Julius Lothar Meyer ordenó los elementos según las propiedades de los átomos y Alfred Werner diseñó la estructura que actualmente conocemos partiendo de la organización de Mendeleyev (UBA, 2018), la tabla periódica cuenta con 118 elementos químicos aprobados, de los cuales 94 son naturales, los otros 24 se han realizado de forma sintética, en la tabla periódica se encuentra un grupo de elementos que son conocidos como metales pesados que son todos aquellos con una densidad mayor a $4,5 \text{ g/cm}^3$, estos metales se caracterizan por bioacumularse en los sistemas de los seres vivos generando graves daños al ser compuestos que en bajas dosis tienen efectos cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos (Pérez Pérez et al., 2010) además de inhibir el crecimiento de radículas, tallos, hojas y aumentar la mortalidad en las plantas, entre otros efectos; en el conjunto de estos metales pesados encontramos el Cromo (Cr), este elemento fue descubierto por el Frances Louis Nicolas Vauquelin en 1797, le llamo cromo por la cantidad de colores que se desarrollaban al experimentar con él; de allí en adelante se descubrieron las múltiples aplicaciones que se podía tener con este metal como por ejemplo su capacidad de no oxidarse aprovechando eso se desarrollaron temas en la metalurgia y fueron aplicados en el campo militar, para realizar cubiertos de mesa y pinturas gracias a la pigmentación en que generaba el cromato de plomo, pero en la década de los 50 y 60 se generó un problema de salud pública por la filtración de aguas contaminadas con Cr^{+6} (Cromo hexavalente es un estado de oxidación del Cr) al agua potable, esto generó que 10 años después las personas tuvieran sangrado por la nariz y enfermedades respiratorias, muchas personas murieron y el pueblo recibió una indemnización

(Knight, 2015) el Cr^{+6} puede generar en el ambiente daño en los organismos acuáticos y en las plantas daño en la radícula e inhibición del crecimiento.

Planteamiento Del Problema

El Río Tunjuelito es uno de los principales ríos que desembocan en el Río Bogotá y contribuye al cambio de las características físico-químicas desmejorando la calidad del mismo. Las aguas del Río Tunjuelito se han deteriorado debido a la gran cantidad de contaminantes que se vierten desde que ingresan a la capital; entre los contaminantes más nocivos que llegan al Río encontramos los metales pesados que son altamente nocivos para la vida debido a sus características tóxicas; el Cromo hexavalente es teratogénico y cancerígeno y se bioacumula en los organismos de los seres vivos, la presencia de cromo hexavalente ha sido un tema de interés para diferentes instituciones y entes gubernamentales debido al impacto ambiental que causa, la ruta de este metal pesado inicia con la extracción de la cromita, donde se realiza el procesamiento de este mineral para así poder extraer el cromo y usarlo en proceso de manufactura (industrias cementeras, metalúrgicas, curtiembres y textiles) los vertimientos de estas industrias van a parar a las aguas del Río Tunjuelito como se mencionó anteriormente estas aguas desembocan en el Río Bogotá y este desemboca finalmente en el Río Magdalena; siendo el Río Magdalena uno de los principales proveedores piscícolas para la ciudad de Bogotá y otros pueblos aledaños al Río.

El cromo hexavalente es un contaminante de gran importancia por los daños que causa al ambiente y la salud, este contaminante se ha detectado en el Río Tunjuelito gracias a estudios como los que ha realizado el IDEAM en los últimos diez años, uno de ellos llamado VI Fase de Seguimiento de Efluente Industriales y corrientes Superficiales de Bogotá D.C. donde indican textualmente que “Al estudiar la carga de metales pesados arrojada al río Tunjuelo, se encontró

que un 79,81% de la carga total corresponde a cromo, seguido por el zinc con el 19,19%, y el resto de los metales con el 1%. La alta carga de cromo encontrada en los vertimientos directos de esta cuenca se debe a la presencia de industrias de curtiembre en el sector de San Benito” (IDEAM, 2003), como dicen en este informe uno de los principales responsables de este tipo de contaminantes son las curtiembres de San Benito, está industria en sus procesos principales usa cromo para curtir las pieles que llegan allí. Para que el cromo pase de estado de oxidación de cromo +3 a cromo +6 se debe someter a grandes temperaturas o se formar por la reacción con otros compuestos químicos. A continuación, se muestra la gráfica del informe del IDEAM.

Figura 12. Porcentaje de carga de metales pesados río Tunjuelo

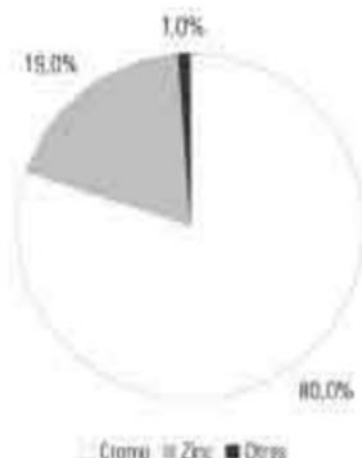


Ilustración 1. Secretaria Distrital de Ambiente, (2007), VI fase de seguimiento de efluentes industriales y corrientes superficiales de Bogotá D.C, [Figura], recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/013726/VIFase.pdf>.

Como se mencionaba anteriormente el Cromo hexavalente se une a la cadena alimenticia por medio de los vertimientos que son generados por las industrias como las curtiembres, en búsqueda de la información sobre la toxicidad de este contaminante se encuentra la tesis:

citotoxicidad por cromo en encéfalo, médula espinal, tubo digestivo, riñón e hígado de *betta splendens* según la concentración determinada en la cuenca baja del río Tunjuelo (sector curtiembres) donde dice textualmente: “La concentración promedio de las muestras de agua provenientes del río Tunjuelo es de 73.53 PPM, la concentración en el sitio de vertimiento es de 139.841 PPM esta concentración se diluye cuando entra al agua a 7,219 PPM debido al caudal del río. El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en su resolución 0631 establece que la concentración para los vertimientos de cromo por parte del sector industrial de las curtiembres debe ser de 0,50 mg/l (PPM) en conformidad con el artículo 5 de la ley 99 de 1993, el artículo 28 del decreto 3930 de 2010, y el artículo 1 del decreto 4728 de 2010. Como se evidencio en este estudio los vertimientos son muy altos lo que indica un alto grado de contaminación por parte de estas curtiembres.” (Enrique & González, 2016, pág. 28).

Por medio de la información anterior, no solo es un hecho que en la cuenca baja del Río Tunjuelito hay cromo hexavalente si no que también sus concentraciones son más altas que las permitidas en la normatividad ambiental, por tanto, se pretende determinar las variaciones de este contaminante, ya que este tiende a cambiar abruptamente. Se desea conocer como es la movilización del cromo hexavalente por las empresas que vierten sus aguas allí y que sean diferentes a las curtiembres, ya que se tiene conocimiento de que hay otras industrias que aportan al aumento de los niveles del Cromo hexavalente debido a que en sus procesos usan cromo, una de ellas son las industrias de recubrimientos metálicos que ofrecen el servicio de cromado, se quiere investigar también si las hay otra industrias aledañas al Río, ya que según un estudio realizado por la alcaldía mayor y la SDA para el 2004, se encontró que en el tramo 4 a analizar, se aumentaron las concentraciones del punto de monitoreo Makro Autopista Sur a el Punto Transversal 86, lo que resulta preocupante ya que según este estudio se aumentó de

aproximadamente 0,5 mg/L a 3,9 mg/L respectivamente y se mantiene elevada hasta los 1,9 mg/l de cromo Total (Bogotá, Hidrología, del Recurso Hídrico de Bogotá, & Escobar Ochoa Subdirector Ambiental Sectorial Rafael Augusto Martínez Rocha Interventor María Cristina Laverde Herrera, 2004), es importante saber las concentraciones concretas del contaminante a analizar y cuáles son las industrias que podrían estar afectando el Río en este tramo ya que de este tema no se encontró registro.

Justificación

El cromo hexavalente es el estado de oxidación más tóxico de este elemento, este afecta a plantas y animales, generando alteraciones en sus células, el cromo se encuentra en forma natural en el ambiente, pero el hombre lo ha introducido de manera peligrosa, causando daños a la biota, por medio de la determinación del cromo hexavalente en fuentes hídricas se puede establecer los niveles de contaminación de las mismas, así como la afectación que puede causar al ambiente y al hombre.

Se debe tener en cuenta que es importante identificar la industria o actividad que contaminan la fuente hídrica ya que esto permite generar controles desde la fuente para prevenir, mitigar o eliminar el contaminante, así como conocer la concentración del contaminante permite diseñar e implementar técnicas de remediación, ya sean químicas o biológicas.

Las fuentes hídricas que hay en Bogotá desembocan el Río Bogotá el cual termina su trayecto en el Río Magdalena, donde muchos de los peces que hay en este río son consumidos por los habitantes de las riveras del río y otras ciudades donde se lleve el pescado para consumo, otro punto importante es que con las aguas del Río Bogotá se riegan cosechas de legumbres en la cual se han encontrado concentraciones de este tipo de metales pesado.

Este tipo de trabajos ayudan a concientizar a la población del daño que se está generando y de cómo se está dañado el sitio donde se habita; esto se ha demostrado en estudios de la Universidad Nacional y en el presente estudio; algunos datos aportados con la Universidad Nacional son por ejemplo los niveles de cromo en la orina de ciertos trabajadores de las curtiembres de San Benito donde los niveles de Cr+6 en los organismos están sobrepasándolos 20 µg/L en el 3% de la

población examinada (Cuberos et al., 2009), la idea es ser reflexivos y comprender que si se puede generar una sociedad autosostenible que con pequeñas acciones puede generar grandes cambios y evitar este tipo de consecuencias desde a fuente de generación.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un diagnóstico sobre los niveles de cromo hexavalente en el tramo IV del Río

Tunjuelito

Objetivos Específicos

- ✓ Construir el estado del arte sobre la contaminación asociada a cromo hexavalente en el tramo IV del Río Tunjuelito.
- ✓ Diseñar un programa de monitoreo, para la medición de cromo hexavalente en el tramo IV del Río Tunjuelito.
- ✓ Analizar los resultados de la caracterización fisicoquímica y su relación con las actividades socioeconómicas de la cuenca.

Marco Teórico

La contaminación por cromo hexavalente de las aguas superficiales es una problemática que se presenta en diferentes partes de Colombia y del mundo.

Área de estudio

El nacimiento del Río Tunjuelito lo componen la laguna los Tunjos, el embalse de Chisacá del cual recibe sus aguas del río Chisacá y Mugroso y la represa la regadera. Desde hace cientos de años el río Tunjuelito era importante para las comunidades indígenas como los muisca ya que ellos establecían allí sus cultivos en la parte alta, en la ladera del río y en la desembocadura de este sin importar que este fuera una zona inundable, en la parte alta del Río, los muisca se asentaron como una población nómada y se distribuía a lo largo del Río Tunjuelito. La razón por la cual se establecieron en la parte alta del Río, fue debido a que el frío del páramo conservaba los alimentos como carnes de ciervos, conejos y curíes además que prosperaban cultivos como los tubérculos, en el sur se asentaban también y allí realizaban camellones para la agricultura; el Río para los muisca tenía más importancia mitológica y cosmológica, el río Tunjuelito también llegó a marcar las principales rutas de comercio en comunicación de oriente a occidente, vía al llano, av. Caracas, autopista sur y av. Bosa como los principales caminos en su entonces (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

El río Tunjuelito es una de las fuentes hídricas más importantes de Bogotá debido a su caudal y que lo recorre de sureste a suroccidente, la degradación del Río se ha evidenciado y acentuado debido al crecimiento poblacional, industrial y la falta de una adecuada gestión por parte de las entidades gubernamentales, el 20% de las curtiembres de Bogotá se ubican en el barrio San Benito, el Río Tunjuelito recibe 138 vertimientos, lo que representa en promedio 6,7 vertimientos

por Km, de estos el 79,81% es de Cr total (Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, 2017).

Con la llegada de los españoles, se dividieron las tierras y se formaron resguardos indígenas los cuales luego fueron obligados a desintegrarlos y vender las propiedades (Secretaria Distrital de Ambiente, 2007)..

Con el crecimiento de la población bogotana y las sequias que llegaron por la deforestación de los cerros orientales, se empezó a tomar agua del Río Tunjuelito, degradándose poco a poco por la creciente demanda de los ciudadanos, creándose el embalse la regadera para los años 30 y posteriormente la planta de tratamiento Vitelma, debido a al fenómeno del Niño y las sequias se realizó un embalse arriba de la Regadera llamado Chisacá, esto con el fin de regular el caudal, así se expropió e inundó la hacienda el Hato, sin embargo la ciudad seguía creciendo por lo que se debió de realizar otro embalse en la laguna los Tunjos, para nivelar la capacidad de abastecimiento demandada por los ciudadanos. De igual forma la población siguió creciendo, con lo cual las nuevas fuentes de abastecimiento fueron Neusa y Tibitóc (Secretaria Distrital de Ambiente, 2007).

Para los 50 y debido al abandono de las partes administrativas, se empezaron a crear zonas urbanas cerca al Río, sobre todo en las vías principales (Secretaria Distrital de Ambiente, 2007).

Debido a la construcción de los dos embalses se cambió la hidráulica del Río Tunjuelito, con esto las zonas bajas se empezaron a inundar en periodos determinados de forma grave, para este entonces se prohibió la construcción, pero a pesar de esto se empezaron a comprar los terrenos para construcción en las zonas inundables. Debido a lo anterior y al crecimiento de la ciudad

surgió una demanda por materiales de construcción, en la zona media del Río Tunjuelito se ubicaron chircales y minas dedicadas a la extracción de gravas y arcillas, donde las empresas mineras realizaron la desviación del río Tunjuelito dejando gran cantidad de familias sin las condiciones dignas para vivir ya que gracias a este hecho las familias se empezaron a inundar, la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá genera así también el alcantarillado mezclado con aguas lluvias y aguas servidas desembocándolas en el Río Tunjuelito, lo cual en las temporadas de lluvias termina por desbordar el Río e inundar las casas más cercanas (Secretaría Distrital de Ambiente, 2007).

Por último, se empezaron a asentar otras industrias a la orilla del Río como lo son las curtiembres y empresas dedicadas a Tintorería, Metalurgia, empresas de beneficio, que sumado al relleno Sanitario Doña Juana y el vertido de los lixiviados, terminaron contaminando al Río, aportando contaminantes como materia orgánica, metales pesados, residuos sólidos, entre otros. (Molina Montoya et al., 2010). El Cr^{+3} y el Cr no son cancerígenos. Por otra parte, la formación natural de Cr VI se genera por reacciones del Cr III con compuestos orgánicos y que lo solubilizan y es catalizado por MnO_2 , la reducción del Cr VI en la atmósfera se genera por el SO_2 , este luego es disuelto por la lluvia; en las industrias de curtido de pieles se genera por los compuestos orgánicos y las sales que se usan para el procesamiento del cuero, el Cr VI se encuentra como iones de dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ y cromato CrO_4^{2-} (Beukes et al., 2017).

El Río Tunjuelito para los muiscas fue el sitio de asentamiento para el desarrollo de su cultura, para los bogotanos fue la principal fuente de abastecimiento de agua, así como abastecimiento de ciertos materiales para la construcción, actualmente el Río se ha muerto por los vertimientos que generan las empresas y por los cambios a la morfología que generaron las empresas mineras.

Actualmente el Río Tunjuelito tiene un caudal del 3 m³/s y en temporadas de lluvia puede alcanzar los 90 m³/s, tienen una longitud de 73 Km y su cueca tiene una longitud de 390 Km², este recorre las localidades de Sumapaz, Usme, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Kennedy y Bosa (Alejandro & Osorio, 2007).

Química Del Cromo Hexavalente

El cromo es un metal pesado, se encuentra en el grupo 6B de la tabla periódica, es un metal pesado ya que su peso molecular es de 52g/mol, su densidad es de 7.19 g/cm³, se extrae de la cromita, el cromo se usa para dar color, recubrimiento de maquinarias, el cromo se presenta en estado de oxidación III y VI, el estado III es el más estable, mientras que el VI es el más tóxico y dañino al ambiente y al ser humano, el cromo se oxida dependiendo la temperatura y el pH, en pH bajos se encuentran los dicromatos, en pH neutro y básico predominan los cromatos y para pH levemente ácidos se destacan los hidrocromatos (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2010).

Cromo Hexavalente En El Ambiente

El cromo VI es un contaminante muy estable y que se bioacumula en el organismo de los seres vivos, en el ambiente contribuye con los procesos de nitrificación con lo que se aumenta la materia orgánica, esto es gracias a su densidad, y por esto mismo es teratogénico y cancerígeno, el medio de ingreso al cuerpo se pueda dar por medio de la vía cutánea o de las respiratorias y oral, se permea en las membranas celular, en pulmones, médula ósea, ganglios, entre otros. y se puede eliminar en un 60% por vía urinaria, los síntomas son inflamación de neumocitos,

alteración en el ADN y en los cromosomas, entre otros. Los límites máximos permitidos son 10µg/L y en población en riesgo 20 µg/L(Cuberos, Esther; Rodriguez, Alba I. y Prieto, 2009).

Monitoreo De Sedimentos

Los sedimentos son materiales aluviales arrastrados por los cursos hídricos, generados por la erosión de las laderas y por actividades antrópicas, la medición de los sedimentos se realiza con el fin de conocer el transporte del agua, la calidad, el aprovechamiento de cauces y agua, manejo de aguas ante amenazas antrópicas, crecimiento de sedimentos (Manuel Santos Calderón et al., 2017).

La selección del punto de monitoreo se realiza cumpliendo con los requisitos de para la medición de caudales puntos 7.2.1.2 del protocolo de monitoreo del agua del IDEAM; se puede realizar en varios lugares, el tramo debe ser recto, sección profundas y márgenes naturales altas, la pendiente longitudinal debe ser uniforme, no debe haber fuertes corrientes, ni corrientes muertas, ni contra corrientes, ni remolinos, no deben haber ni troncos, ni árboles, ningún obstáculo, no debe ser fangoso el sitio de muestreo, las corrientes deben ser lineales, el terreno para poner el aparato de medición debe ser estable (Manuel Santos Calderón et al., 2017).

Estado Del Arte

Inicialmente se realizó consultas sobre el estado del tramo 4 con entes gubernamentales como el IDEAM, CAR, SDA y las alcaldías con jurisdicción en este tramo; así mismo con entidades no gubernamentales como universidades públicas y privadas, esto se realizó por medio de consultas en internet, llamadas y visitando a estas entidades para radicar las solicitudes.

De los trabajos encontrados, se compiló y analizó toda la información sobre los vertimientos o empresas que mayores aportes de cromo tienen sobre el tramo en estudio, todo con el fin de tener un promedio de las concentraciones y así lograr un referente o línea base para el desarrollo de la investigación.

Antecedentes:

Knapp patentó el proceso de baños del cuero en sales de cromo, pero fue el francés Cavalin quien inicialmente usó sales de cromo para que el cuero estuviera firme, entre 1887 y 1892 el Alemán August Schults logra optimizar el proceso a un baño (Piel-decorativos, 2007). Estos procesos generaron afectaciones a la salud y daños al ambiente por los altos contenidos de Cr^{+6} , Estudios de la Universidad Nacional informan que a un grupo de trabajadores de las curtiembres de San Benito se le encontraron los siguientes cuadros clínicos relacionados con el Cr: Afectaciones dermatológicas, oftalmológicas, otorrinolaringología y vía oral (Cuberos, Esther; Rodriguez, Alba I. y Prieto, 2009).

La organización mundial de la salud en 1958 estableció que para agua potable el nivel de cromo hexavalente debía de ser de 0,05 mg/l, se realizaron diversos estudios para cambiar esta medida de referencia, pero no se aprobaron, por lo que aún sigue pendiente el tema de poner un nuevo valor para el Cr^{+6} debido a su capacidad de generar cáncer (WHO, 2003). A nivel Colombia la CAR estableció los objetivos de calidad de agua en el río Bogotá para lograr en el 2020 por medio del Acuerdo N° 43 del 2006, no sobrepasar los niveles de Cr^{+6} de 0,05 mg/l para las clasificaciones de los niveles I que es para consumo humano doméstico con tratamiento convencional y uso agrícola, el nivel II para consumo humano con tratamiento convencional y agricultura con restricciones y el nivel III para sistemas lenticos que se encuentran en la cuenca

del Río Bogotá, para el límite menor de 0,10 mg/l está el nivel IV para uso agrícola con restricciones y pecuario y el Nivel V para generación de energía y uso institucional, para el valor de referencia del río Tunjuelito que está en la cuenca del río Bogotá se establece que para el de Cr^{+6} no se debería pasar de los 0,1 mg/l ya que se clasifica en el nivel IV para uso agrícola con restricciones y pecuario (CAR, 2007). Estos datos se tomaron como valores de referencia para comparar los análisis que se realizaron y por medio de estos se verificó si se está cumpliendo con el acuerdo o no.

Industrias Contaminantes En El Tramo VI:

La cuenca del Río Tunjuelito es contaminada por diferentes industrias como la extractiva y de curtiembres que aportan gran contenido de Cr y son estas las que mayor impacto generan. Las localidades por las cuales pasa el tramo 4 son: Kennedy, que según el POMCA del Río Tunjuelito, alberga industrias que vierten sus aguas, estas industrias son las alimenticias, de textiles, maderera, papelera, químicas entre otras, estas industrias que contribuyen al aumento de metales pesados; en la localidad de Bosa además de presentarse la invasión de la ronda del Río, se generan vertimientos de industrias de cárnicos y el vertimiento de aguas domesticas generando problemas físico-químicos y bacteriológicos al Río (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

Cromo Hexavalente:

Mundialmente la mayor extracción de la cromita (FeCr_2O_4) en el mundo se realiza en Sudáfrica y en Zimbabwe y actualmente se ha descubierto una reserva de Cr que se encuentra en el cinturón de Fuego por la parte de Canadá, esta reserva tiene una extensión de 5000 Km^2 . Los mayores extractores de cromita en Colombia son Córdoba, Chocó y Antioquia (UPME, 2016), algunos de los efectos en el ambiente del Cr VI, como se había mencionado anteriormente son la

reducción en la germinación de las plantas, aumento de la mortalidad de poblaciones de lombrices, toxicidad en larvas y peces lo cual daña algunos órganos y afecta la reproducción en la vida marina, en branquias, riñones y células.

Cromo Hexavalente En Aguas Superficiales:

En otros estudios realizados por la universidad de los Andes se encuentra una tesis para determinar si en el agua potable del barrio San Benito se encontraba contaminada con Cr+6; debido a que es este barrio el principal foco contaminante del Río Tunjuelito se consideró importante tener esta investigación en cuenta; para dicho estudio se tomaron 138 muestras optimas de agua potable de una zona de afectación la cual fue dividida en tres, las zonas con altos niveles de Cr+6, es la zona 3 que es la zona industrial donde se concentran las curtiembres y los valores resultantes oscilan entre los 0,078 mg/l a los 0,25 mg/l, la zona 2 que es residencial tiene unas concentraciones que van de los 0,010 mg/l a los 0,088 mg/l de cromo hexavalente sobrepasando la normatividad vigente, la zona 1 no sobre pasa estos valores, la contaminación del agua potable con el Cr+6, se debe a que la zona dos se encuentra debajo de la zona industrial, pasando por esta casa las tuberías de aguas residuales, se cree que la contaminación se da por infiltración de agua residual en las tuberías de agua potable, además de que hay otras empresas curtidoras cercanas(David & Silva, n.d.).

En casos internacionales encontramos el del Río Matanza-Riachuelo ubicado en la ciudad de Buenos Aires – Argentina; las aguas vertidas en este Río son descargas de variedad de industrial de galvanizado, petroquímicos, curtiembres, entre otros; por parte de las curtiembres se encuentran más de 200 industrias dedicadas a actividades de procesamiento de cuero, de estas industrias se le realizaron muestreos a 5 empresas por parte de la ONG Greenpeace, los muestreos se realizaron en laboratorios de Reino Unido para diferentes parámetros, en el caso

específico de Cr^{+6} , se encontró que los resultados para la empresa La teresa, María Lettieri, Ángel Giordano, La Hispano y Américo Gaita fueron: $<0,050 \text{ mg/l}$, cada una y la prueba realizada al canal donde se descarga da que el resultado de este parámetro también es de $<0,050 \text{ mg/l}$, estas aguas son vertidas al Río Matanza-Riachuelo, pero no excede los parámetros normativos internacionales lo cuales son $>0,05 \text{ mg/l}$, esto es en cuanto a muestras de agua, en muestras de sedimentos tenemos que la única empresa a la cual se le realizó el análisis fue la empresa Hispano la cual tenía una concentración $<0,2 \text{ mg/l}$ (Greenpeace, 2012), sobrepasando la normatividad vigente. Los muestreos del canal se encuentran valores $<0,05 \text{ mg/l}$.

El Río Jarama ubicado en Madrid – España; en el documento analizado encontramos que se realiza una relación de la presencia de Cr^{+6} en sus diferentes formas dependiendo el pH, ejemplo de esto es que en un pH básico se encuentran en forma hidrocromatos, en pH neutros y en un pH ligeramente ácido entre 6 a 6,2 se encuentra en forma de cromatos, en un pH más bajo se presentan en forma de dicromatos; cuando se realizaron los análisis se encontró que en el tramo medio del Río la mayor parte de cromo encontrado era cromo hexavalente y que al ser el pH del agua ligeramente alcalino se infiere que la hay presencia de este es en forma de cromatos, los valores de cromo hexavalente sobrepasaban los límites permisibles ya que según el Real Decreto 995/2000 y W.A. EPA (1993) estos no deben pasar los $0,05 \text{ mg/L}$ y en el informe se evidencia que algunos de los rangos de contaminación van de $0,77 \text{ mg/L}$ a $0,24 \text{ mg/L}$ y en la parte intersticial los resultados fueron de $0,06 \text{ mg/L}$ a $0,97 \text{ mg/L}$ (Arauzo et al., 2003), la contaminación se ve tanto de la industrias de la ciudad como de la población urbana, una de las recomendaciones que se realizan en el documento es que no se haga aspersión de las aguas del río para evitar daños a la salud humana por inhalación del cromo hexavalente.

Como es bien sabido, muchas industrias internacionales trasladan sus empresas a países en vías de desarrollo, donde las leyes son tan laxas (Greenpeace, 2012) y así como pueden usar

insumos muy contaminantes prohibidos en sus países, también generan vertidos con residuos que no están reglamentados, generando pasivos ambientales a los países donde se desarrolla la actividad, de ahí la importancia de mejorar las normas nacionales en este tipo de países.

En Ecuador en la provincia de Tungurahua, en el sector de Izamba, Ambato se realiza el 90% de los procesos de curtido y tratados del cuero de este país, muchas de estas industrias no cuentan con tratamientos para los efluentes que son vertidos en los Río Ambato y Pachanlica, por este motivo se realizó un estudio donde se tomaron 16 muestras de efluentes de una empresa para realizarles la extracción de Cr^{+6} para luego determinar su cantidad por medio de absorción atómica, los resultados fueron que estas aguas contienen concentraciones de Cr^{+6} que van de 52,3 mg/l a 242,5 mg/l, lo cual sobrepasa la norma nacional llamada TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario) el cual pone como límite en concentraciones de Cr^{+6} los 0,5 mg/l (Medina & P., 2016); los resultados son exageradamente altos y se le hace un llamado a esta industria a implementar plantas de tratamiento para disminuir esas concentraciones, por otro lado se insta a las autoridades ambientales locales y nacionales a fortalecer las normas para evitar el vertimiento de altas concentraciones a los ríos de este tipo de contaminantes.

En cuanto a los problemas nacionales, tenemos casos como lo es el de la ciénaga de las quintas en la ciudad de Cartagena de Indias, el cual es un sistema de cuerpos de agua que van desde el Cerro de la Popa hasta la ciénaga las quintas, en estos tramos se realizó un estudio estadístico de la toma de 35 muestras para hallar el Cr^{+6} presentes en el cuerpo de agua, y así comparar el pH con el nivel de Cr^{+6} , los resultados varían de 0,001 mg/l a 0,012 mg/l, a pesar que no se exceden los límites, si se encuentra este contaminante y la razón son las curtiembres que se ubican en Bazaruto. Siendo esta industria una de las principales causas del hallazgo del Cr^{+6} no solo en este

caso, sino en la mayoría de la literatura revisada (Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, 2017)

Un estudio al Río Bogotá realizado por la universidad libre, analizó varios parámetros, entre estos la cantidad de Cr^{+6} presente en el Río, este Río es contaminado en los municipios de Chocontá y Villa Pinzón por las curtiembres que desarrollan su actividad, por mucho tiempo se ha tratado de regular este tipo de industrias por los altos niveles de contaminación que vierten al Río, lo que lleva a una dualidad social, ya que para muchos habitantes de esta región esta industria es la única actividad que conocen y es de allí de dónde sacan su sustento. Los resultados según los análisis es que las concentraciones van de aproximadamente 0,028 mg/l a 0,015 mg/l, lo que se resalta de este estudio es que a medida que se baja por el río, disminuyen los niveles de Cr^{+6} , a lo que se atribuye los cambios de pH, razón por la cual se deduce que el Cr^{+6} se oxida para pasar a ser Cr^{+3} (Civil, 2012).

Niveles de Cromo hexavalente en el Río Tunjuelito según entidades gubernamentales

La Secretaría Distrital de Ambiente es la autoridad ambiental encargada de administrar adecuadamente los procesos ambientales, recursos naturales, formular, promover y definir lineamientos, planes ambientales e implementarlos en la ciudad de Bogotá, así como también formular planes enfocados en desastres naturales entre otros (SDA, n.d.-a), para complementar el presente trabajo se realizó una visita a la SDA ya que dentro de su jurisdicción se encuentra el Río Tunjuelito.

Por medio del radicado SDA No. 2019ER274949 de 26/11/2019 y 2019ER86668 del 10/12/2019, se solicitó información de los parámetros físicos químicos del Río Tunjuelito (ver

anexo 1), los datos enviados por la SDA van de diciembre del 2009 a enero del 2018, la siguiente tabla contiene los promedios anuales de parámetros como caudal, Cr total, alcalinidad, pH y conductividad:

Estación TU-MakroS

Tabla 1. Estación TU-MakroS

Año	Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
2009	895,33	7,46	589,93	164,50	0,01
2010	3766,08	7,40	341,74	186,39	0,33
2011	4987,96	7,67	363,30	156,01	0,29
2012	6301,25	7,63	352,15	160,51	0,15
2013	5127,30	7,64	413,43	179,05	0,41
2014	4285,66	7,15	249,60	74,00	0,10
2015	1480,02	7,96	421,70	255,67	0,29
2016	-	-	-	-	-
2017	1115,80	7,51	538,60	142,00	0,05
2018	999,86	7,57	707,40	220,00	0,05
Promedio	3007,51	7,55	441,98	170,90	0,19

Datos tomados de la copia de RCHB 2009-2018 de la SDA (Anexo 2).

Estación TU-Tv86

Tabla 2. Estación TU-Tv86

Año	Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
2009	3101,67	7,85	1140,82	296,50	0,48
2010	3994,67	7,42	351,84	162,23	0,29
2011	5430,41	7,68	358,57	162,42	0,30
2012	5718,20	7,58	329,58	164,04	0,16
2013	5149,34	7,61	381,93	182,29	0,42
2014	2767,78	7,62	902,40	252,00	1,09
2015	2074,98	7,95	490,63	272,00	0,68
2017	13205,40	7,83	358,20	112,00	0,76

2018	3045,00	8,10	1261,60	440,00	0,17
Promedio	4943,05	7,74	619,51	227,05	0,48

Datos tomados de la copia de RCHB 2009-2018 de la SDA (Anexo 2).

Estación TU-PteInde

Tabla 3. Estación TU-PteInde

Año	Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
2009	3315,67	7,66	1217,42	304,00	0,41
2010	4186,20	7,44	362,82	151,32	0,26
2011	5780,81	7,71	354,58	167,02	0,28
2012	5357,43	7,57	332,33	157,84	0,13
2013	4908,11	7,59	344,16	176,94	0,48
2014	2468,73	7,70	640,40	208,00	3,24
2015	1381,24	7,74	462,67	277,33	0,74
2016					
2017	3716,80	8,19	828,40	280,00	0,05
2018	3599,40	7,80	1113,20	300,00	0,22
Promedio	3857,15	7,71	628,44	224,72	0,65

Datos tomados de la copia de RCHB 2009-2018 de la SDA (Anexo 2).

Estación TU-IslaPon

Tabla 4. Estación TU-IslaPon

Año	Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
2009	8379,67	7,65	1165,46	248,00	0,11
2010	4337,09	7,47	390,35	158,39	0,26
2011	6316,15	7,72	344,42	148,22	0,21
2012	4490,87	7,58	319,38	176,28	0,33
2013	4775,63	7,60	300,15	129,36	0,19
2014	9965,74	7,06	361,00	146,00	0,05
2015	1429,36	7,83	429,53	275,00	0,41
2017	8568,25	7,80	401,75	150,00	0,05
2018	4326,00	7,35	1206,60	325,00	0,07

Promedio	5843,19	7,56	546,52	195,14	0,19
-----------------	----------------	-------------	---------------	---------------	-------------

Datos tomados de la copia de RCHB 2009-2018 de la SDA (Anexo 2).

METODOLOGÍA

Toma de las muestras

El Río Tunjuelito nace de la Laguna los Tunjos y del Río Chisacá y Mugroso, Su ubicación va desde Makro Sur con coordenadas 4.595761° Latitud N y -74.152343° Longitud W y termina en la desembocadura del Río Bogotá a los 4.628861° Latitud N y -74.222492° Longitud W tiene una extensión de 73 Km de longitud, el tramo 4 tiene una extensión según la página ORARBO (Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá) de 14,39 Km que van desde Makro de la Auto Sur – Transversal 86 – Puente la Independencia (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009); después de realizar las mediciones en Google Earth desde el puente de Makro de la 68 hasta la desembocadura del Río Bogotá, el medidor arroja que la longitud del Río es de 15,4 Km. A continuación, se muestra la imagen de la medición del Río Tunjuelito Tramo 4 realizado por medio del programa Google Earth.

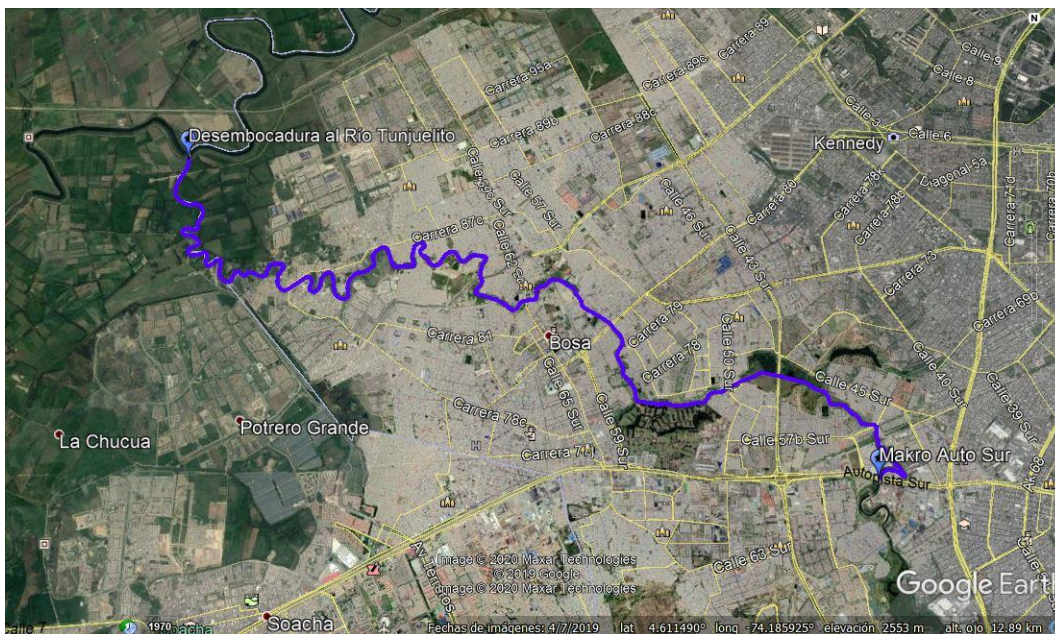


Ilustración 2. Google Earth, Del Autor.

Debido a problemas de orden público y festividades las muestras se tomaron en diferentes fechas, el protocolo para la toma de muestras se realiza según el protocolo de monitoreo de agua del IDEAM, para sedimentos se siguen algunas recomendaciones, los sedimentos son materiales aluviales que caen a los cuerpos hídricos por medio de la erosión que se puede presentar en forma laminar, zanjas o cárcavas, fluvial, movimientos de masa sobre vertientes, los sedimentos también se producen por partículas de vertimientos industriales, los sedimentos pueden ser de fondo que son los que se encuentran en el lecho del río, de arrastre que son los que se deslizan por el lecho del río, en saltación que son los sedimentos que están como partículas finas y se trasladan por la corriente por un tiempo hasta caer al fondo del río y los que están en suspensión que son las que se encuentran en suspensión por la corriente del río(Manuel Santos Calderón et al., 2017).

Básicamente no se tiene una forma específica de realizar el muestreo, solo se dan unas

recomendaciones para realizar la toma de las muestras como lo son: que no se tome la muestra en áreas muertas, que no haya objetos que puedan dificultar la toma de la muestra, que no haya remolinos, la sección debe ser profunda, se debe evitar ir contra la corriente, entre otras (Manuel Santos Calderón et al., 2017); sin embargo la muestra que desea tomar es una muestra de fondo ya que la movilidad de los metales pesados tiende a ir hacia el lecho del río, porque en la zonas movibles de los Ríos no se encuentran en grandes concentraciones y esto implica que no haya afectaciones al medio ambiente (Espinosa et al., 2011).

Según El protocolo del IDEAM, para realizar la toma de muestras se debe tener en cuenta varios factores y basándose en la geomorfología del Río, en su caudal y la zona donde se realizará la toma, esta se puede realizar con uno de los aparatos estándares o se puede construir uno según la necesidad y las condiciones del Río; teniendo en cuenta estas recomendaciones se construyó un aparato para realizar el muestreo, este cuenta con una saliente que es la que realiza el arrastre de los sedimentos en el lecho del río hacia el interior del recipiente y así tomar la mayor cantidad de sedimentos que sean posibles, para poder introducir y sacar el aparato se realizó un triple amarre con una cuerda con más de 10 m de longitud. A continuación, se muestra la imagen del recipiente con el cual se realizó la extracción de los sedimentos.



Ilustración 3. Recipiente Para la Toma de la Muestra

Las muestras que se tomaron fueron puntuales. La primera toma de la muestra se realizó el 20 de Noviembre, se siguió el protocolo de muestreo del IDEAM, el primer sitio de muestreo fue el puente de Makro - Autopista Sur las coordenadas de este punto de muestreo son $04^{\circ}35'40.95''$ Latitud N y $74^{\circ}09'09.86''$ Longitud W, allí se tomó una muestra de agua y sedimentos la muestra de agua fue tomada en una botella y rotulada debidamente, mientras que la muestra de suelo se depositó en una bolsa ziploc y fue debidamente rotulada, como se mencionó anteriormente, la segunda toma de muestras se realizó el 26 de febrero se realizó en los siguientes puntos: Transversal 86 con coordenadas $04^{\circ}36'45.64''$ Latitud N y $74^{\circ}10'51.14''$ Longitud W, puente San Bernardino XVIII sus coordenadas son $04^{\circ}36'54.61''$ Latitud N y $74^{\circ}12'40.33''$ Longitud W y el puente de la desembocadura del Río Tunjuelito con coordenadas $04^{\circ}37'37.95''$ Latitud N y $74^{\circ}13'23''$ Longitud W, la toma de las muestras se realizó sin contratiempos, el clima favoreció para los dos días de muestreo, la toma ideal fue realizada en el mes de noviembre debido a la temporada alta de diciembre, ya que en esta época se aumenta la demanda comercial de todo tipo de productos, en especial de calzado y textiles, la primera muestra fue tomada alrededor de las 11 de la mañana donde se genera gran cantidad de vertimientos, hubiera sido ideal tomar las muestras en las fechas establecidas las cuales ibas a ser la última semana del mes de Noviembre,

sin embargo se debe tener en cuenta que lo que realmente importa es una muestra optima de los sedimentos puesto que los metales pesados tienden a acumularse en estos . A continuación, se muestran algunas imágenes de la toma de muestras.



Ilustración 4. Toma de Muestra de sedimentos Makro Sur y Toma de muestra San Bernardino

XVIII, del Autor

Determinación del Cr+6

Determinación de Cr+6 por medio del método de espectrofotometría. Partiendo de este principio y teniendo en cuenta que la determinación de cromo hexavalente necesita ser lo más precisa posible, se decidió usar el método de espectrofotometría para realizar la determinación de cromo hexavalente en aguas tomadas en el tramo IV del Río Tunjuelito.

El espectrofotómetro que se usó fue un Rigol Ultra 3660 este un aparato con el que se puede determinar una serie de contaminantes por medio de la emisión de luz la cual pasa por una celda transparente, esta celda contiene la muestra a analizar, la luz pasa a través de esta y por medio de un receptor se mide la absorbancia de la longitud de onda, seguido de este proceso se verá los resultados del análisis en la pantalla según la configuración establecida anteriormente.

Curva de calibración. La curva de calibración se realiza de forma creciente con la solución de dicromato de potasio, con una pipeta calibrada se aforará en un vaso de precipitado de 100 ml con agua destilada, se agrega 0,5 ml de HSO₄ con el fin de disminuir el pH a 2, se agita y se agrega 1ml la solución de difenilcarbazida, revolver y dejar reposar de 5 a 10 minutos, por último, leer en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 540 nm.

Análisis de las muestras. Para la preparación de la muestra de agua a analizar se usó el método de referencia Edición 22 de los Métodos Normalizado para Análisis de -Agua Potable y Residual 3500 – Cr B. APHA-AWWA-WEF (2012), los procedimientos de describen a continuación:

Los análisis de las muestras se realizaron dentro de las primeras 24 horas establecidas en los protocolos, el primer análisis que se realizó fue el de la muestra de agua tomada en Makro Sur. La muestra que se tomó fue filtrada con papel de filtro Whatman 40 ya que los sólidos suspendidos pueden interferir en la absorbancia de la longitud de onda, se preparó la solución para determinar la concentración del Cr⁺⁶, para esto se tomó 50 mg de difenilcarbazida y se diluyó en 10 ml de acetona. Se tomó 50 ml de la muestra filtrada, se le ajustó el pH a 2 con 0,5 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado al 50%, se le agregó 1 ml de difenilcarbazida, se agitó y esperó a que se desarrollara el color de 5 a 10 minutos, se llevó al espectrofotómetro previamente programado a 540 nm, se tomó un blanco en una celda de cuarzo para ajustar la medida y luego se realizaron los análisis de la muestra, para esta se realizó 3 réplicas

Método de digestión sedimentos en medio ácido. Los metales pesados se acumulan en los sedimentos de los lechos de las diferentes fuentes hídricas, esto se debe básicamente a su

movilidad por la densidad, teniendo en cuenta esta situación, se procede a realizar la digestión que es un método para eliminar elementos disponibles (Ionizzanti et al., 2015) además de concentrar el Cr+6 optimizando la determinación del mismo para la preparación de la muestra se usa el método de la EPA 3050b -4 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils (EPA Method 3050B Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils, 2012).

Solución patrón de cromo hexavalente. En un matraz aforado se realiza la preparación de la solución patrón de la siguiente forma: pesar 141.45 mg de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), enraizar en un matraz de 100 ml con agua desionizada, ajustar el pH <2 con el ácido nítrico (HNO_3), para preparar la curva de calibración se realizarán los cálculos de trazas de 0,06 PPM a 0,2 PPM; cada ml contiene 0,5 mg de Cr+6.

Solución de difenilcarbazida al 0,5%. Pesar 50 mg de difenilcarbazida y disolver con 10 ml de acetona en un tubo de ensayo con tapa debido a que la acetona es muy volátil.

Solución ácido sulfúrico H_2SO_4 al 50%. En un balón de 200 ml Aforar con 100 ml de agua desionizada y 100 ml de H_2SO_4 .

Curva de calibración. La curva de calibración es la referencia usada para validar si se encuentra Cr+6 en los sedimentos, la curva de calibración se realiza analizando agua con concentraciones graduales de Cr+6, en este caso se debe preparar la solución patrón de Cr+6 se preparó pesando 141,45 mg de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) para luego ser disueltos en 100 ml de agua destilada vertidas en un matraz aforado, a esta solución se le debe realizar el ajuste del pH agregando de 2 a 5ml de ácido nítrico (HNO_3), la concentración de la muestra patrón es de 0,5 mg Cr+6, es decir que en los 100 ml hay 500 ppm, a continuación se muestran los cálculos

para realizar muestras que van con 0,03 ppm, 0,06 ppm, 0,1 ppm, 0,15 ppm y 0,2 ppm teniendo en cuenta la ecuación $V_1C_1=V_2C_2$:

$$[0,03 \text{ ppm}] = \frac{100 \text{ ml} * 0,03 \text{ ppm}}{500 \text{ ppm}} = \frac{3}{500} = 0,006 \text{ ml} * \frac{1000\mu\text{l}}{1\text{ml}} = 6\mu\text{l}$$

$$[0,06 \text{ ppm}] = \frac{100 \text{ ml} * 0,06 \text{ ppm}}{500 \text{ ppm}} = \frac{6}{500} = 0,012 \text{ ml} * \frac{1000\mu\text{l}}{1\text{ml}} = 12\mu\text{l}$$

$$[0,1 \text{ ppm}] = \frac{100 \text{ ml} * 0,1 \text{ ppm}}{500 \text{ ppm}} = \frac{1}{500} = 0,006 \text{ ml} * \frac{1000\mu\text{l}}{1\text{ml}} = 20\mu\text{l}$$

$$[0,15 \text{ ppm}] = \frac{100 \text{ ml} * 0,15 \text{ ppm}}{500 \text{ ppm}} = \frac{15}{500} = 0,006 \text{ ml} * \frac{1000\mu\text{l}}{1\text{ml}} = 30\mu\text{l}$$

$$[0,2 \text{ ppm}] = \frac{100 \text{ ml} * 0,2 \text{ ppm}}{500 \text{ ppm}} = \frac{20}{500} = 0,006 \text{ ml} * \frac{1000\mu\text{l}}{1\text{ml}} = 40\mu\text{l}$$

Después de calcular las concentraciones de dicromato de potasio se procedió a realizar los análisis de las muestras por medio del espectrofotómetro ajustando la absorbancia a 540 nm que es la onda que nos determina las concentraciones de Cr+6.

Determinación de cromo hexavalente con difenilcarbazida. En un vaso de precipitado de 100 ml agrega de 50 ml de muestra a analizar, agregue 0,5ml de HSO₄, y 1 ml de difenilcarbazida, agitar y dejar reposar de 5 a 10 minutos para que vire el color a morado.

Preparar el blanco con agua. Poner el blanco y seguido una a una las muestras en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 540 nm.

Se realiza el despeje de la siguiente ecuación para la determinación del cromo hexavalente en el agua analizada:

$$A_c = A_r - A_b$$

A_b = Absorbancia de la muestra sin reactivos

A_r = Absorbancia de la muestra con los reactivos

A_c = Absorbancia de la muestra (corregida)

Digestión de sedimentos en medio ácido. Para cada una de las muestras tomadas se realizó la digestión vertiendo en 2 vaso de precipitado una muestra homogénea de 5 g de los sedimentos tomados, se le agregó 10 ml de ácido nítrico (HNO_3), se puso en una plancha a 95°C sin que este hirviera, se tapó con un vidrio de reloj para evitar la contaminación con los gases, pasados 15 minutos se bajaron las muestras de la plancha y se agregó 5 ml de HNO_3 concentrado, se cambió el vidrio de reloj, se dejó 30 minutos más en este procesos se presentaron humos marrones lo que significaba la oxidación por la reacción de HNO_3 por tanto se repitió el último paso hasta que se dejaron de generar, se dejó calentar por 2 horas más y se bajó de la plancha se dejó enfriar y se le agregó a cada muestra 2 ml de agua, y 3ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30%, se puso en la plancha hasta que terminó la efervescencia y se le agregó 1 ml, como la efervescencia continuó se le agregó más H_2O_2 hasta completar los 10ml, por último se procedió a dejar por 2 horas las muestras en la plancha a 95°C .

Después de hacer el proceso de digestión se vertió 100 ml de agua destilada, se realizó el filtrado, en un vaso de precipitado tomó 50 ml de la muestra, se verificó que el pH estuviera en 2, se le agregó 1 ml de difenilcarbazida y se procedió a realizar el análisis de las muestras para hallar las concentraciones de Cr^{+6} en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.



Ilustración 5. Digestión de Lodos.

Muestra Control. Para verificar la confiabilidad del método y análisis de muestra en el espectrofotómetro se decidió realizar una muestra control tomando una muestra de suelo de la universidad y agregándole 2 ml de $K_2Cr_2O_7$.

$$\frac{10ml\ K_2Cr_2O_7 * 100\ ppm\ K_2Cr_2O_7}{500\ ppm\ K_2Cr_2O_7} = 2ml$$

Determinación de pH, Alcalinidad y Conductividad

Determinación de pH. Además de la determinación de Cr+6, también se realizaron otros análisis como lo es el pH que es el potencial de hidrogeniones y que indica la acides o basicidad de una sustancia y su valoración va de 1 siendo este un ácido fuerte, 6 ácidos débiles, 7 neutro 8 bases débiles y 14, conductividad y alcalinidad (Iquimicas, 2018), el pH tiene implicaciones directas de los compuestos que contienen el Cr+6.

Para Realizar la determinación de pH se usó un pHmetro, se filtraron las muestras de agua, se transvasó a beakers de 50 ml, se introdujo el electrodo en cada una de las muestras de agua y se

midió el ph.

Alcalinidad. La alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar ácidos por medio de las sales que contiene, se puede decir que por medio de la alcalinidad representa la cantidad de carbonato, bicarbonato e hidróxido (IDEAM, 2005), el método con el cual se va a determinar la alcalinidad es por el método volumétrico.

Vertimos 50 ml en una un vaso de precipitado, se le agregó 2 gotas de naranja de metilo hasta que se coloreó levemente naranja, se inició la titulación con H_2SO_4 0,02 N, se agregó gota a gota hasta que el color viró a fucsia (Maldonado, 2007), se tomaron los mililitros para realizar.

Resultados Y Análisis De Los Resultados

El IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos) es la entidad encargada del levantamiento de información ambiental así como de suministrar datos a todo aquel que los solicite, dentro de sus responsabilidades está “Obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación, en especial las que en estos aspectos, con anterioridad a la Ley 99 de 1993 venían desempeñando el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT-; el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química - INGEOMINAS-; y la Subdirección de Geografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-“. Por esto se realizó una solicitud para recibir información de la calidad de agua del Río Tunjuelito por medio del radicado No. 20193000003391; donde se informa que la solicitud no es competencia del IDEAM (Ver anexo 3), por este motivo se realizó la consulta con la CAR, respondiendo por medio del comunicado que al igual que el IDEAM no tiene competencia sobre el Río Tunjuelito, sin embargo se realizó la recomendación de revisar la página para verificar los estudios de parámetros de los Ríos que desembocan en el Río Bogotá.

Ruta De Monitoreo

Según la RCH (Red de Calidad Hídrica), el Río Tunjuelito se divide en 4 tramos, el tramo 1 va desde el embalse la regadera hasta la quebrada Yomasa, el tramo 2 se comprende desde la Quebrada Yomasa hasta la avenida Boyacá esta zona es la que mayores descargas de aguas residuales aporta, el tramo 3 va desde la avenida Boyacá hasta Autopista Sur, allí es donde se vierte mayor cromo hexavalente debido a la principal actividad del barrio San Benito la cual es el curtido de pieles, según la RCH el tramo 4 va partir de la Autopista Sur (Makro Sur) hasta la

desembocadura del Río Tunjuelito al Río Bogotá. A continuación, se muestra la tabla de los tramos y sus coordenadas.

Tabla 5. Puntos de Monitoreo

Cuenca	Puntos de monitoreo	Tramo Fuente	Abscisado	Coordenadas geográficas WGS84	
				Latitud	Longitud
RIO TUNJUELO	La Regadera	1	K0+000	4,24181	74,08403
	100 metros aguas abajo después de la quebrada Yomasa	2	K12+881	7,30138	74,07399
	Doña Juana	2	K15+760	4,31318	74,07367
	Barrio México	3	K21+801	4,33308	74,08037
	San Benito	3	K22+652	4,33488	74,08227
	Makro, Autopista Sur	4	K31+839	4,35588	74,09077
	Transversal 86	4	K36+036	4,36448	74,10487
	Puente Independencia	4	K38+725	4,37058	74,11467
	Isla Pontón San José	4	K43+550	4,36548	74,13037

Fuente: Convenio 005/2006 SDA - EAAB-ESP.

Nota: Tabla tomada de calidad del sistema hídrico de Bogotá (SDA, 2008)

El objetivo de realizar el recorrido es hacer un reconocimiento de las industrias aledañas al Río y establecer los sitios de Muestreo.

Desarrollo y demarcación de la ruta para realizar la toma de muestreos del río tunjuelito.

Debido a problemas de orden público sucedidos en el pasado mes de noviembre del 2019 se vieron retrasados los procesos tanto del reconocimiento del Río Tunjuelito, así como la toma de las muestras, el recorrido del Río se realizó el 16 de noviembre del 2019, por medio de la aplicación Strava se logró tomar el registro del recorrido; durante el este se presenció que en la Autopista Sur se evidencia que se vierten aguas residuales del frigorífico y de los distribuidores de carnes, aportando gran cantidad de materia orgánica al Río, también se hallaron otras industrias Río abajo como industrias textiles, metalúrgicas (estas industrias usan el cromo para diferentes usos, ejemplo: las textiles para darle coloración a las telas por medio de compuestos como el fluoruro de cromo y el dicromato sódico; la galvanoplastia lo usa para el recubrimiento

de piezas metálicas y se usan insumos como el ácido crómico, el curtido de pieles usa el dicromato sódico y las empresas de estampado usan el acetato de cromo (Guevara Z., 2011), después de estos procesos muchas veces se vierten las agua al Río Tunjuelito son ningún tipo de tratamiento) y de servicios mecánicos, lavaderos de carros y residencias. A continuación, se muestra el mapa según el recorrido.

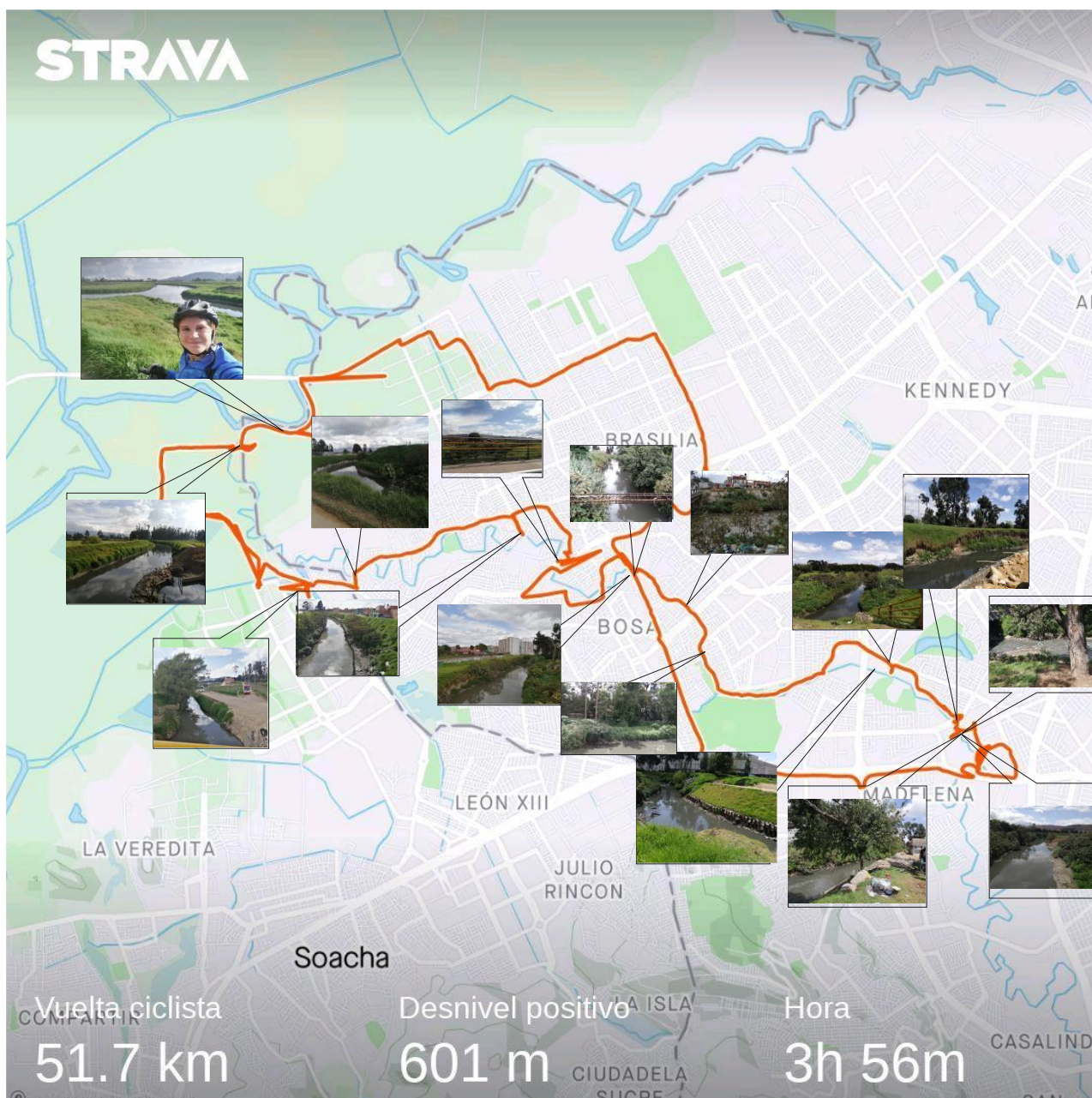


Ilustración 6. Recorrido por el Río Tunjuelito, aplicación Strava, fuente propia.

Después de realizar el recorrido se estableció que por seguridad y por la facilidad en la toma de las muestras se tomarían los dos primeros puntos de muestreo de la Secretaría Distrital de Ambiente, los cuales son el puente de Makro - Autopista Sur las coordenadas de este punto de muestreo son 04°35'40.95" Latitud N y 74°09'09.86" Longitud W, Transversal 86 con

coordenadas 04°36'45.64" Latitud N y 74°10'51.14" Longitud W, los puntos que se establecieron que no están en la Red de Calidad Hídrica, pero se establecieron por seguridad, son el puente San Bernardino XVIII sus coordenadas son 04°36'54.61" Latitud N y 74°12'40.33" Longitud W y el puente de la desembocadura del Río Tunjuelito con coordenadas 04°37'37.95" Latitud N y 74°13'23" Longitud W. A continuación, se muestran los puntos de muestreo establecidos para el desarrollo de la presente investigación.

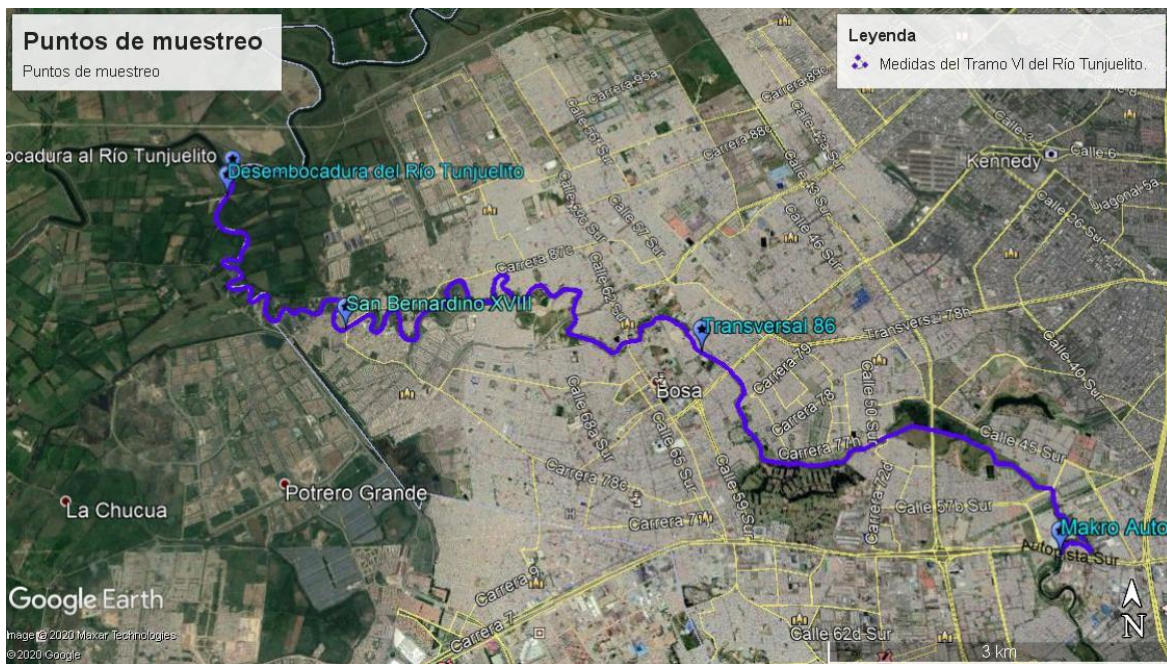


Ilustración 7. Puntos de Muestreo, Google Earth.

Evidencia Del Impacto Ambiental. Durante el recorrido se evidencia la degradación del Río Tunjuelito ocasionada por los diferentes vertimientos de las industrias aledañas, los impactos ambientales encontrados son el aumento de sólidos en la rivera del Río Tunjuelito producto de la disposición inadecuada de estos por parte de las viviendas residenciales e industrias, esto genera un impacto paisajístico por la mala imagen que refleja el Río, se generan hedores por los

vertimiento orgánicos que son degradados por los diferentes microorganismos, ejemplo de las industrias que aportan este tipo de contaminantes son las empresas dedicadas al procesamiento de cárnicos, uno de los impactos ambientales que mayor complejidad y afectación a la población bogotana genera es la introducción de metales pesados en la cadena alimenticia; en la parte baja del Río Tunjuelito cuando este llega a territorios de fincas se evidencia la inundación de los cultivos por medio de canales de riego que transportan estas aguas, además que también se evidencia la contaminación al Río con agroquímicos usados en estos cultivos, además de presenciarse vacas lecheras que pastan en terrenos contaminados.

Estudios de la Universidad Nacional reportan la concentración de metales pesados como el As, Pb, Cr y Hg en hortalizas entre los años 2008 al 2009, la acelga es la hortaliza que mayores concentraciones contiene lo que genera mayor cociente de peligro HQ que es la medida de toxicidad no cancerígena y que no causa problemas adversos en el ser humano cuando es <1 (Organización Mundial de la Salud, 2017), el HQ de la acelga fue del 39,9% al 34,1%, las concentraciones máximas de metales pesados como As, Pb, Cd y Hg en esta hortaliza son de 0,202 mg/Kg, 0,67 mg/Kg, 0,75 mg/Kg y 0,051 mg/Kg (Mauricio & Casallas, 2016) respectivamente, como se indicaba anteriormente esta hortaliza es distribuida a la población bogotana lo que puede generar problemas de salud como daños renales, neurodesarrollo, presión arterial, cáncer de piel, hiperpigmentación, nefropatía progresiva, entre otros. A continuación, se muestran las imágenes del riego de los cultivos con estas aguas.



Ilustración 8. Irrigación con aguas del Río Tunjuelito, del autor.



Ilustración 9. Canal para riego de los cultivos. del autor.



Ilustración 10. Cultivo de acelgas. Del Autor.



Ilustración 11. Pastoreo. Del Autor

Toma De Las Muestras. Antes de realizar la toma de muestras se hizo una revisión visual del sitio de muestreo y después de encontrar el lugar más confiable se procedió a realizar la toma de la misma. A continuación, se muestra la tabla de caracterización del sitio.

Tabla 6. Características Físicas de los Puntos de Muestreo

Punto de muestreo	Características Físicas	Características de la muestra
Makro Sur	es evidente la contaminación y la degradación del río, el caudal es bajo debido a la cantidad de residuos que obstruyen el paso del agua, la mayoría de residuos son envases plásticos, se avistan gallinazos que consumen la diferente carroña que también es vertida por las empresas cárnicas que se encuentran en la zona, además de textilerías que vierten sus aguas residuales al río;	La muestra de sedimentos es de color oscuro y al ser retirada del río conserva su humedad en 70%.

	<p>el río emite olores fuertes los cuales se intensifican por la extracción de la muestra.</p> <p>Allí aumenta el caudal según el promedio tomado de los datos de la SDA; el caudal en promedio en este punto es de 3007,51l/s, el agua allí tiene una coloración grisácea oscura, hay varios desagües de las empresas de los cárnicos, estos desagües vierten aguas color rojizo propios de la actividad, aquí el olor no es tan fétido como lo es en el punto antes de pasar la autopista. También se evidencia menor cantidad de residuos.</p>	
Carrera 86	<p>se evidencia la invasión de la ronda del río por parte de habitantes de calle, son depositados residuos sólidos que aumentan la contaminación del río, se encontraron empresas como lavaderos de carros y empresas dedicadas a la mecánica quienes depositan los residuos contaminándolo con hidrocarburos como aceites, lubricantes, refrigerantes y combustibles. La toma de la muestra de suelo se realizó en la parte de abajo del puente, la toma de esta fue más complicada ya que el lecho del río parecía compactado, se</p>	<p>Los sedimentos extraídos del río eran de coloración oscura, la muestra de agua también fue tomada allí, su coloración era grisácea con alto contenido de sólidos suspendidos, el</p>

	<p>debió tirar el recipiente más del 3 veces para lograr sacar una muestra. según la tabla de la SDA el promedio del caudal es de 4943,05 l/s por lo que es notable el aumento de este comparado con el de Makro Sur.</p>	<p>caudal en esta zona era mayor debido a lo estrecho del río.</p>
<p>San Bernardino XVIII</p>	<p>este punto es cercano al punto seleccionado por la SDA, el puente de la independencia, allí el caudal es menor debido al ancho del río; en la parte de arriba del puente se aprecia un alto contenido residuos sólidos depositados debido a que esta zona es residencial, la muestra fue fácil de tomar, el lecho del río era menos compacto. el caudal del punto de muestreo de la SDA que es la independencia tiene un caudal promedio de 3857,15 l/s.</p>	<p>La muestra de agua tomada allí era de coloración grisácea con alto contenido de sólidos suspendidos.</p>
<p>Desembocadura del río Tunjuelito</p>	<p>Al igual que el anterior es cercano al punto de muestreo de la SDA, el cual es la Isla Pontón San José, aquí el río tiene un caudal alto, se ve menor cantidad de residuos sólidos al ser una zona campestre, la muestra de suelo es oscura y de consistencia fangosa. El caudal en este punto es mucho más alto según la SDA el caudal para la Isla Pontón San José es de 5843,19 l/s.</p>	<p>La muestra de agua contiene gran cantidad de sólidos y es de coloración grisácea.</p>

Medición De Ph Y Relación. El pH fue tomado en los diferentes puntos de muestreo con pH metro. A continuación, se presentan los resultados.

Tabla 7. Medición de pH.

Punto de Muestreo	pH
Makro Sur	6,5
Transversal 86	6,96
Puente San Bernardino XVIII	6,66
Desembocadura	7,03

Según la tabla anterior el pH de los diferentes tramos en su mayoría son ligeramente ácidos y solo uno es ligeramente básico, teniendo en cuenta la teoría, que nos dice que dependiendo el pH es la formación molecular en la cual se presenta el Cr^{+6} ; por tanto para los puntos Makro Sur que es de 6,5, la Carrera 86 que es de 6,96 y el puente San Bernardino XVIII que es de 6,66, el cromo se presente está en forma de dicromatos, lo cual se puede generar por las sales usadas para las coloraciones de curtidos de pieles y tinturado de textiles; para la desembocadura el Cr^{+6} varía su estructura y se presenta en forma de hidrocromatos (Arauzo et al., 2003).

Alcalinidad. Por medio de la alcalinidad de pueden determinar las diferentes sales que se encuentran presentes en el río, la titulación realizada debía generar un viraje del color de la muestra a fucsia. A continuación, se muestran los resultados del método volumétrico.



Ilustración 12. Determinación de Alcalinidad.

Una vez realizada la titulación se procedió a realizar los cálculos que son los ml de H_2SO_4 usados por 20. A continuación se muestra los resultados:

Tabla 8. Alcalinidad

Punto de muestreo	H_2SO_4 (ml)	Calculo	Mg/l del $CaCO_3$
Makro Sur	5,2	*20	104
Transversal 86	10,1	*20	202
Puente San Bernardino XVIII	12,1	*20	242
Desembocadura 1	7,3	*20	146

Para la alcalinidad según la resolución 2115 los límites máximos permisibles de alcalinidad para aguas de consumo humano deben de ser máximo de 200 mg/l (MINAMBIENTE, 2007), en otras referencias bibliográficas, para aguas de consumo humano se encontró que los parámetros mínimos son de 30 mg/l y máximo de 200 mg/l (Pérez-López, 2016), por lo que los valores del punto de muestreo de Makro Sur y la desembocadura están dentro de los parámetros establecidos y las concentraciones de los puntos de muestreo de la Carrera 86 y el Puente San Bernardino XVIII sobrepasan los límites, sin embargo no es mucho teniendo en cuenta que estas aguas no son de consumo humano según la clasificación de la CAR. A continuación, se realiza la relación de caudal y concentración de alcalinidad.

Tabla 9 Caudal vs dureza

Punto de muestreo	Caudal m ³ /s	mg/l CaCO ₃
Makro Sur	3007,51	104
Crr 86	4943,05	202
Puente San Bernardino XVIII	3857,15	242
Desembocadura	5843,19	146

Como se muestra en la tabla anterior para los puntos de Makro sur se tiene un caudal de 3007,51 m³/s con una alcalinidad de 104, Carrera 86 4943,05 m³/s con una alcalinidad de 202 mg/l y Puente San Bernardino XVIII tenemos un caudal de 3857,15 m³/s con una alcalinidad de 242 mg/l, aquí podemos deducir que a mayor caudal mayor alcalinidad, esto se puede deber a las diferentes sales de industrias cercanas y desagües de aguas domésticas exceptuando el último punto; en la desembocadura de del río se disminuye la concentración de la alcalinidad, esto se debe a la disolución de los contaminantes, aquí el caudal es mucho mayor con 5843,19 m³/s y una alcalinidad de 146 mg/l.

Conductividad:

Los resultados de la conductividad se mostraron A continuación se muestran los resultados de la conductividad.

Tabla 10. Conductividad

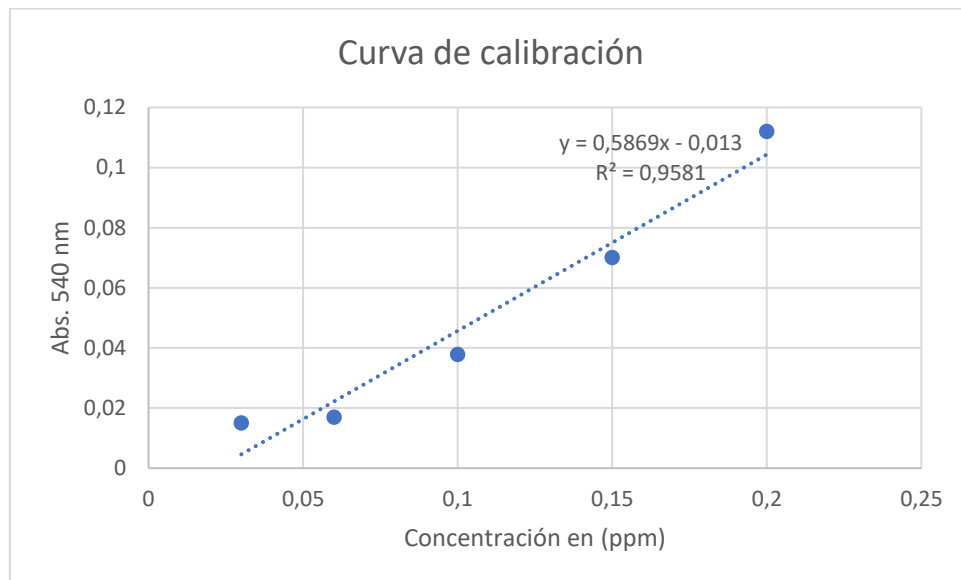
Punto de muestreo	mV
Makro Sur	-25
Transversal 86	-7,2
Desembocadura 1	29
Independencia 1	1,7

Curva De Calibración. La curva de calibración se realizó tomando 0,03, 0,06, 0,1, 0,15 y 2 mg/l de Cr+6. A continuación, se muestra la tabla con los resultados de la toma de las muestras.

Tabla 11. Concentraciones para Curva de Calibración

Concentración (ppm)	1 Abs 540	2 Abs 540	Media Abs
0,03	0,0186	0,0114	0,015
0,06	0,0183	0,0155	0,0169
0,1	0,03	0,0456	0,0378
0,15	0,0847	0,0554	0,07005
0,2	0,118	0,106	0,112

Al calcular la absorbancia se procede a realizar la curva de calibración para poder verificar la confiabilidad de esta por medio del método estadístico de regresión lineal, siendo los resultados del 95%. A continuación, se muestra la gráfica de la curva de calibración.



Gráfica 1. Curva de calibración

La confiabilidad de la regresión lineal es del 95%, por lo cual es óptima la curva de calibración para determinar el nivel de Cr^{+6} en las muestras tomadas del Río Tunjuelito.

Análisis De Muestra De Agua. El análisis de agua se realizó como prueba preliminar para determinar si había cromo hexavalente en el agua. A continuación, se muestran los resultados de estas tres réplicas y la concentración de Cr+6:

Tabla 12. Concentración en Muestra de Agua Makro Sur.

Muestra	R1	R1	R2	R3	valor medio de abs.	Concentración (ppm)	Concentración (mg/l)
Agua Makro Sur	0,0	0,01	0,0	0,0	0,038	0,009	0,042
	15	9	34	61		7	

Para evaluar la viabilidad de la tesis se realizó un muestreo en el puente Makro con el fin de determinar si había o no el contaminante evaluado; como se aprecia en la tabla, la concentración que hay en el río, en el primer punto de muestreo que es Makro Sur de Cr⁺⁶ es de 0,042 mg/l, estas tranzas no representan peligro y no sobrepasan los límites según los objetivos de la CAR y la clasificación, la cual es nivel IV para uso agrícola con restricciones y pecuario (CAR, 2007) y siendo el máximo permisible 0,1 mg/l, pero los análisis más importantes para realizar son para los sedimentos de los diferentes tramos, de quienes se cree que hay mayor cantidad de Cr⁺⁶ y estos se analizarán más adelante.

Digestión De La Muestra. Cuando se realizó la digestión de la muestra se pudo presenciar poca generación de humos marrones en los sedimentos extraídos del tramo IV, caso contrario de la muestra control de la cual se evidenció gran cantidad de estos humos marrones, ya que la muestra de suelo era tierra de jardines, por lo cual se debió agregar más reactivo, esto se debió a la gran cantidad de materia orgánica con nutrientes esenciales para los cultivos, la coloración de la digestión al final fue de color amarillo, con un sedimento de coloración grisácea, después de filtrar la muestra con agua destilada y agregar la difenilcarbazida se presenció una coloración

amarillenta oscuro el color amarillo importante indicador de la presencia de Cr +6, a mayor intensidad del amarillo mayor concentración del contaminante. A continuación, se muestran los análisis por medio del método de espectrofotometría.

Tabla 13. Análisis de Muestras

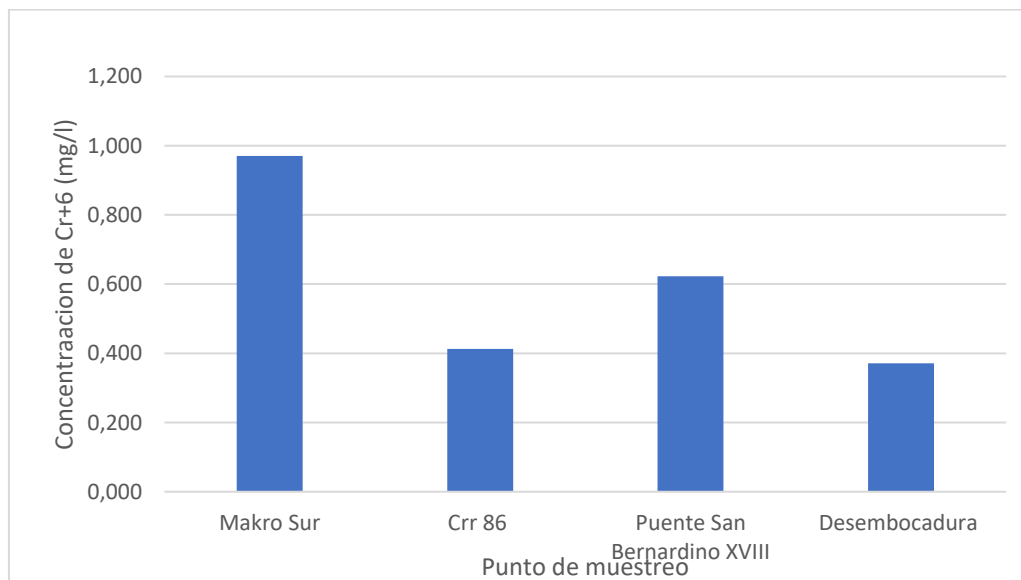
Muestra	R1	R1	R2	R3	valor medio de absorbancia	Concentración (ppm)	Ajuste factor de dilución 1/20 (mg/l)
Agua Makro Sur	0,0 19	0,0 34	0,0 62	0,0 38	0,019	0,043	-
Makro Sur	0,0 29	0,0 34	0,0 62	0,0 41	0,029	0,049	0,970
Crr 86	0,0 28	0,0 23	0,0 25	0,0 25	0,028	0,021	0,413
Puente San Bernardino XVIII	0,0 19	0,0 33	0,0 42	0,0 31	0,019	0,031	0,623
Desembocadura	0,0 31	0,0 19	0,0 22	0,0 24	0,031	0,019	0,371

Como se aprecia en la tabla anterior la muestra de agua del punto Makro Sur tiene una concentración de cromo hexavalente de 0,043 mg/l lo cual no sobre pasa el acuerdo Acuerdo N° 43 del 2006 el cual hace referencia que para el tipo de aguas del río Tunjuelito que es de una clasificación IV el límite máximo permisible es de 0,1 mg/l.

Los átomos poseen un color particular que los identifica, este tipo de propiedades han sido estudiadas en la química cuántica; para determina el color del átomo se usa la espectrometría de emisión, y por medio de esta peculiaridad se puede determinar los compuestos o contaminantes en la materia gracias a que cada elemento tienen una longitud de onda característico por su grado de configuración electrónica (Hill, 2000), Cuando se realizó la digestión de sedimentos y se

realizó la medición con el espectrofotómetro de estas muestras se evidencio que el color era más amarillo oscuro cuando las concentraciones de cromo eran mayores, se debe tener en cuenta que la materia orgánica y posibles sales presentes en la muestra de suelo pueden generar la reducción del Cr+6, también se debe tener en cuenta que se debió realizar una dilución de 100 ml de agua destilada, por lo cual la muestra tiene una relación de 1/20 por lo cual se debió realizar el ajuste para esta muestra y para las otras.

Para Makro Sur los resultados fueron 0,970 mg/l, mientras que para la Carrera 86 fueron 0,413 mg/l, en el puente San Bernardino XVIII fue de 0,623 mg/l y por último para la desembocadura del río fue de 0,371 mg/l. A continuación, se muestra la gráfica con la medición de las concentraciones.



Gráfica 2. Concentraciones de Puntos de muestreo.

Según la gráfica anterior se muestra que el punto Makro Sur es el punto con mayor concentración de Cr⁺⁶ con una concentración 0,97 mg/l sobrepasando el acuerdo con la CAR en este punto, el que la concentración allí sea tan alta puede deberse a que este punto es más cercano

al foco de generación de Cr+6 que es las curtiembres de San Benito, el segundo punto de mayor concentración el puente San Bernardino XVIII, allí las concentraciones son de 0,63 mg/l, en este punto puede que haya menor concentración por el arrastre del agua, también que el caudal es mucho mayor, además que esta es una zona residencial por lo que no hay generación de este contaminante.

El tercer punto con mayor concentración es la Carrera 86, allí las concentraciones son de 0,43 mg/l, al estar el suelo semicompactado, lo cual pudo significar la difícil sedimentación del Cr+6 algunos de la empresa que allí se encuentran son empresas dedicadas a la mecánica, causantes de la contaminación de hidrocarburos, así como también se debe tener en cuenta que en el trayecto del río hay otras industrias que vierten el Cr+6 como lo son las textileras que se ubican por esta zona.

El punto con los niveles más bajos de Cr+6 es de 0,371 mg/l, el que las concentraciones allí sean bajas se puede deber el alto caudal según la SDA, además de la lejanía con el foco que lo vierte.

A continuación, se presenta la gráfica del caudal de los diferentes puntos de muestreo establecidos por la Secretaría Distrital de Ambiente.

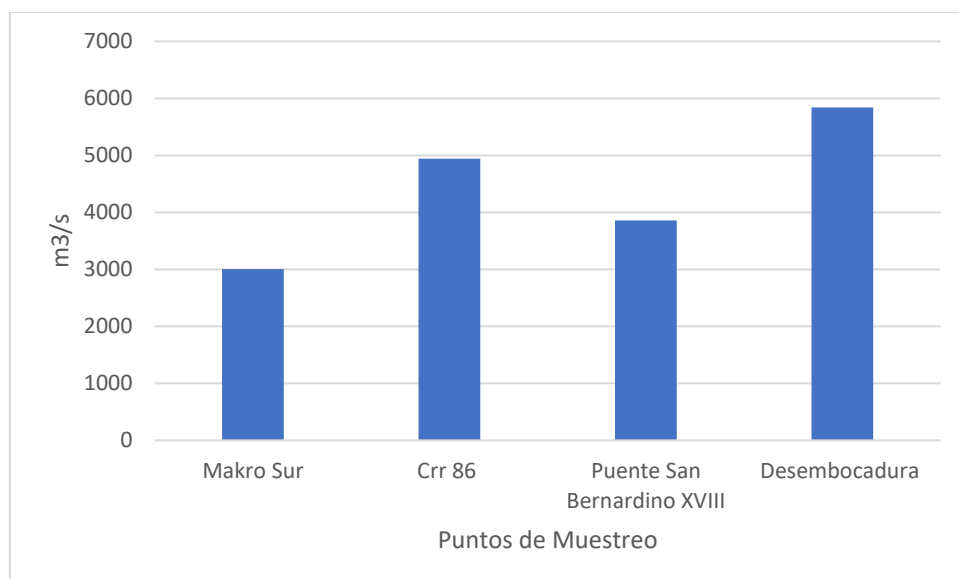


Ilustración 13. Caudal

Según La tabla anterior y realizando la relación con la tabla de Cr^{+6} y la del caudal se aprecia que la concentración del contaminante tiene una relación inversamente proporcional, es decir que a mayor caudal mayor dilución del contaminante, los puntos de Crr 68 y la desembocadura del río Tunjuelito tienen caudales de 4900 y 5900 m³/s, mientras que Makro Sur y Puente San Bernardino XVIII tienen los caudales más bajos pero las mayores concentraciones con 0,970 mg/l y 0,623 mg/l.

Conclusiones

Cuando se realizó el recorrido del río se apreciaron los puntos óptimos de muestreo los cuales fueron Makro Sur, Carrera 86, San Bernardino XVIII y la desembocadura del río Tunjuelito, estos fueron escogidos por el fácil acceso para la toma de muestra y ser aparentemente más seguros para la misma.

Durante el recorrido del río se identificaron industrias de textiles, cárnicos, talleres de mecánica que aumentan las concentraciones de contaminantes ya que vierten sus aguas residuales en este río.

En la desembocadura del río Tunjuelito se encontraron cultivos de acelgas que son regados por medio de canales que transportan aguas de este río, además de establecerse zonas de pastoreo; según informes de la Universidad Nacional las acelgas tienen un cociente de peligrosidad del 39,9% al 34,1%, y las concentraciones de As, Pb, Cd y Hg en esta hortaliza son de 0,202 mg/Kg, 0,67 mg/Kg, 0,75 mg/Kg y 0,051 mg/Kg (Mauricio & Casallas, 2016), por lo que se ve el impacto por introducción de metales pesados en la cadena alimenticia.

Durante la toma de las muestras se notó que había gran cantidad de sólidos en la orilla y en canales del río, estos desechos son depositados por los diferentes residentes de la zona.

Cuando se tomó la muestra de sedimentos de los puntos Makro Sur, puente San Bernardino XVIII y la desembocadura del río Tunjuelito se realizó con facilidad, caso contrario de la Carrera 86, ya que este suelo parecía compactado, una de las razones por la que este suelo pudiera estar tan compactado pudo ser el que el caudal en este punto fue el más alto que es de 4943,05 l/s según la SDA, esto es porque el río en este punto es más estrecho y hay mayor cantidad de agua al paso, por lo que hay mayor arrastre de los sedimentos.

Para realizar el diagnostico de las concentraciones de Cr^{+6} se debió realizar la digestión de lodos, no antes sin realizar un ensayo con agua del punto Makro Sur y determinar la concentración con el método de difenilcarbazida y la lectura por medio del espectrofotómetro.

Los resultados de la digestión se compararon con el Acuerdo N° 43 del 2006 de la CAR donde se establecen los objetivos de calidad para el 2020 en cuanto a medición de parámetros para mejorar la calidad de agua del río Bogotá, allí se establece que el río Tunjuelito tiene una clasificación IV que hace referencia a aguas usadas para riegos con restricciones y donde se indica que el límite máximo permisible es de 0,1 mg/l de Cr^{+6} en el momento de desembocar en el río Bogotá.

Los resultados de la muestra fueron para la muestra de agua de Makro Sur de 0,043 mg/l y de la muestra control de 0,633 mg/l, estas dos muestras se realizaron para determinar si había Cr^{+6} , por lo que los ensayos preliminares fueron satisfactorios, por otra parte, la muestra de agua sobrepasa los límites permisibles.

Los resultados de las muestras de sedimentos fueron 0,970 mg/l para Makro Sur, 0,413 mg/l para la Carrera 86, 0,623 mg/l para el Puente San Bernardino XVIII y de 0,371 mg/l para la desembocadura del río Tunjuelito, comparado con el acuerdo de calidad y teniendo en cuenta que los metales pesados se movilizan en los sedimentos, se concluye que no pasan la norma, por el contrario, sobrepasan los límites de forma alarmante.

La carrera 86 tiene uno de los niveles de Cr^{+6} más bajos lo que se puede deber al alto caudal y a que la toma de sedimentos se dificultó en este punto por la aparente compactación del lecho del río.

Según el pH de los diferentes tramos se estima que la mayoría de los iones de Cr^{+6} están presentes en moléculas de cromatos, que son sales usadas en los procesos de curtiembres y de teñidos textiles como se evalúa en el estudio del Río Jarama en Madrid – España donde se realiza

un análisis similar (Arauzo et al., 2003), allí no solo se evidencia iguales concentraciones de Cr^{+6} las cuales van de 0,97 a 0,06 mg/l, casi iguales de altas a las del río Tunjuelito.

Recomendaciones

Una de las principales ideas de la comunidad bogotana debería ser la recuperación de este Río, ya sea para recreación o mejoramiento de la imagen paisajística como para proveer de alimento a la población. Por tanto, el presente estudio pretende ayudar a diagnosticar la cantidad de cromo hexavalente e identificar las fuentes generadoras o atenuantes de este contaminante, y así poder contribuir a estudios para remediación u otra forma de recuperación del Río Tunjuelito.

Las leyes y las entidades distritales deberían ser menos permisivas con las industrias que vierten al río metales pesados como lo es el Cr; el control de la toma de muestras y cumplimiento de la cadena de custodia deben ser vigilados, para evitar la alteración de las mismas y así el incumplimiento de la débil norma actual.

La separación de los alcantarillados combinados en la ciudad, también es un punto crucial para la limpieza del río y evitar la muerte del mismo, se debería reestructurar el sistema de alcantarillado para que estas aguas lleguen directamente a la PTAR.

Bibliografía

- Alejandro, J., & Osorio, O. (2007). *Rio Tunjuelito.indd*.
http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/adjuntos_paginas_2014/1.3.3_rio_tunjuelito_baja.pdf
- Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C., & Cedenilla, O. (2003). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama. *Limnetica*, 22(4), 85–98.
- Beukes, J. P., du Preez, S. P., van Zyl, P. G., Paktunc, D., Fabritius, T., Päätaalo, M., & Cramer, M. (2017). Review of Cr(VI) environmental practices in the chromite mining and smelting industry – Relevance to development of the Ring of Fire, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 165, 874–889. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.176>
- CAR. (2007). *CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA-CAR ACUERDO NÚMERO*.
- Civil, I. (2012). Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón. *Tecnura*, 16, 185–193. <https://doi.org/10.14483/22487638.6823>
- Cuberos, Esther; Rodriguez, Alba I. y Prieto, E. (2009). Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. *Salud Pública*, 11(2), 278–289. <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v11n2/v11n2a12.pdf>
- Cuberos, E., Rodriguez, A. I., & Prieto, E. (2009). *Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia* (Vol. 11, Issue 2).
- David, J., & Silva, R. (n.d.). *CUANTIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA POTABLE CON CROMO HEXAVALENTE Y SU RELACIÓN CON LAS CURTIEMBRES. CASO DE ESTUDIO: SAN BENITO, BOGOTÁ DOCUMENTO DE TESIS DE GRADO*.

EPA Method 3050B Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. (2012). October, 2012.

<https://www.epa.gov/esam/epa-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils>

Espinosa, L. F., Parra, J. P., & Villamil, C. (2011). Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40(1), 7–23.

Greenpeace. (2012). *Cueros Tóxicos: Nueva evidencia de la contaminación de curtiembres en la Cuenca Matanza-Riachuelo.*

http://www.dpn.gob.ar/documentos/20160517_30814_556734.pdf

Guevara Z., D. S. (2011). *Escuela politécnica del ejército departamento de ciencias de la vida.*

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5109/1/T-ESPE-IASA II-002396.pdf>

Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, D. S. (2017). ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE (VI) CON RELACIÓN AL pH EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CIÉNAGA DE LAS QUINTAS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8(9), 1–58.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Hill, M. G. (2000). *Estructura atómica.* 1–11.

IDEAM. (2005). *ALCALINIDAD POTENCIOMETRIA .*

Ionizzanti, R., Scientific, T. F., & Rivoltana, S. (2015). Desarrollo de un método analítico para la caracterización isotópica de los suelos. *Desarrollo de Un Método Analítico Para La Caracterización Isotópica de Los Suelos*, 26(1), 47–54.

Iquimicas. (2018). *Definición de pH y cómo calcularlo.* <https://iquimicas.com/definicion-ph-calcularlo/>

Knight, L. (2015). *Cromo, el elemento que hizo brillar al siglo XX - BBC News Mundo.*

- https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150527_ciencia_cromo_finde_vs
- Maldonado, D. (2007). Determinación de la Alcalinidad Total. *Gui Para La Utilizacion de Las Valijas Viajeras - Alcalinidad*, 1–4.
- https://doi.org/http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf
- Manuel Santos Calderón, J., Gilberto Murillo, L., Alberto Botero López, C., FRANCO TORRES Director General, O., OMAR VARGAS MARTÍNEZ Subdirector de Hidrología, N., Nicol Tetaty Botia Ana Maria Vesga Güiza, C., & Omar Vargas Martínez Claudia Nicol Tetaty Botia Ana Maria Vesga Güiza, N. (2017). *Protocolo de Monitoreo de Agua*.
- Mauricio, J., & Casallas, E. (2016). *RISK ASSESSMENT ON HUMAN HEALTH BY CONSUMPTION OF VEGETABLES IRRIGATED WITH WATER CONTAINING HEAVY METALS IN A SECTION OF THE RIVER BASIN TUNJUELO*.
- Medina, M., & P., P. P. (2016). Determinación de cromo hexavalente en descargas de aguas residuales de una curtiembre, ubicada en el sector de Izamba, Ambato en la provincia de Tungurahua, mediante espectrofotometría de absorción atómica. *InfoANALÍTICA*, 1(1). <http://infoanalitica-puce.edu.ec/index.php/infoanalitica/article/view/44>
- MINAMBIENTE, 2007. (2007). *RESOLUCIÓN NÚMERO 2115*.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Guías para el Manejo de Productos Químicos y Desechos Peligrosos*. <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/1992.pdf>
- Molina Montoya, N., Aguilar Casas, P., & Cordovez Wandurraga, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 8(1), 77–88. <https://doi.org/10.19052/sv.831>
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Herramienta De Evaluación De Riesgos Para La Salud Humana De La Oms: Peligros Químicos*.

- <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255613/9789243548074-spa.pdf;jsessionid=24BDF548A9F4E5DD83BE4E69819FC9DF?sequence=1>
- Pérez-López, E. (2016). Quality control of water for human consumption in the region of the West in Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 29, 3–14.
- <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Pérez Pérez, I., Gámez Sánchez, D., Orozco González, M., Miranda Reyes, S., & Pérez Sayas, I. (2010). Active screening in patients with breathing symptoms in the Municipal Polyclinic. *MEDISAN*, 14(2), 0–0.
- Pieles-decorativos. (2007). *historia de la curtida* . <https://pieles-decorativos.webnode.es/historia/>
- SDA. (n.d.-a). *Decreto 109 de 2009 Alcalde Mayor*. Retrieved March 16, 2020, from <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=35527>
- SDA, A. (n.d.-b). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá*. 2008. Retrieved March 20, 2020, from http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=6544fe6d-637e-4db0-89a8-e69540e4bf49&groupId=10157
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2007). *Diagnóstico POMCA Tunjuelito Secretaría Distrital de Ambiente Convenio Interadministrativo 040 de 2007*.
- http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Exploracion_Minera_Tunjuelito/Diagnostico_POMCA_Tunjuelo-Sec_Ambiente-2007.pdf
- Secretaría Distrital de Ambiente, S. (2009). *Diagnóstico POMCA Tunjuelito*.
- <https://www.orarbo.gov.co/es/indicadores?id=1305&v=1>
- UBA. (2018). *Tabla Periódica de los Elementos IUPAC 2018*.
- <http://www.fi.uba.ar/sites/default/files/150 años - Tabla Periódica.pdf>
- UPME. (2016). *Cromo*. http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_CROMO.pdf

WHO. (2003). *Hojas de información sobre sustancias químicas*.

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/es/.

ANEXOS

Anexo 1.



SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE Folios: 3. Anexos: No.
Radicación: 2019EE2866847 Prec: 4546345 Fecha: 2019-12-20 19:07
Tercero: 1010179990 - JOHANA CAMACHO SANCHEZ
Dep Radicadora: SUBDIRECCIÓN DE RECURSO HÍDRICO Y DEL
SUELO
Clase Doc: Salida Tipo Doc: Oficio de Salida

Bogotá DC

Señora
JOHANA CAMACHO SANCHEZ
C.C. 1.010.179.996
jcamacho09@misena.edu.co
jcamachosanc@unadvirtual.edu.co

Referencia: Radicados SDA No. 2019ER274949 de 26/11/2019 y
2019ER286668 del 10/12/2019
Solicitud de información estudios fisicoquímicos del Río Tunjuelito

Respetada Señora,

En atención al radicado de la referencia, mediante el cual solicita información acerca de estudios fisicoquímicos en el Río Tunjuelito, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) por intermedio de la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo le informa que con el propósito de evaluar la calidad y la cantidad de los principales cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá, la SDA opera la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB) herramienta que ha permitido conocer y establecer diferentes estrategias y objetivos para el mejoramiento de la calidad de los ríos principales del Distrito Capital, para lo cual se realizan monitoreos periódicos específicamente en el Río Tunjuelito, se cuenta con diez (10) estaciones de monitoreo, las cuales se muestran en la siguiente tabla y figura.

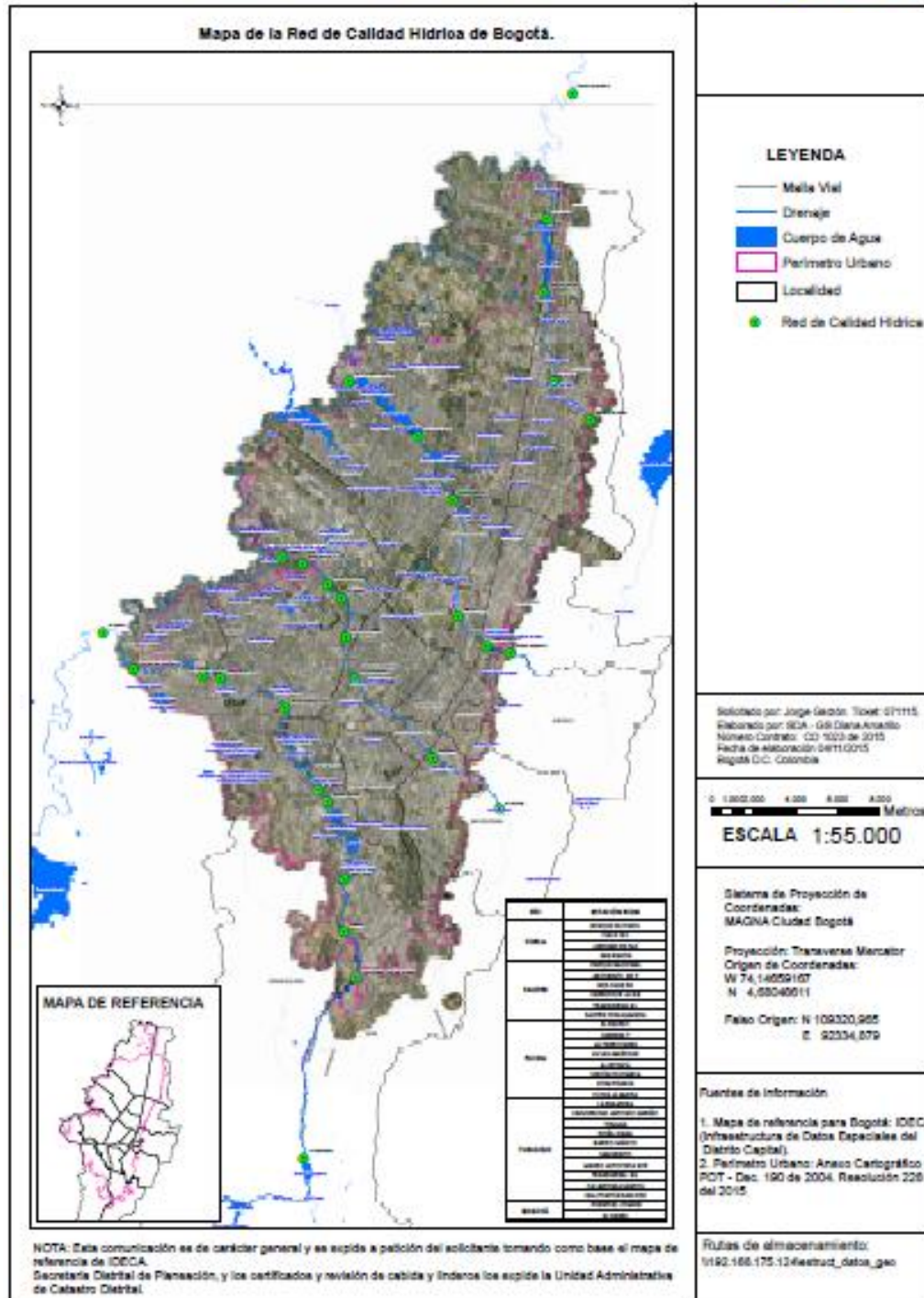
Tabla 1. Distribución de las estaciones de monitoreo - RCHB Río Tunjuelito.

CUENCA	ESTACIÓN
Río Tunjuelito (10 Estaciones)	TU-Rogador
	TU-UJAN
	TU-Yomasa
	TU-OJuana
	TU-Mexico
	TU-SBenito
	TU-MakroS
	TU-Tv86
	TU-PlayInde
	TU-IslaPon

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas N° 54 - 38
PBX: 3778899 / Fax: 3778930
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá, D.C. Colombia

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

Figura 1. Distribución de las estaciones de monitoreo RCHB Río Tunjuelo.

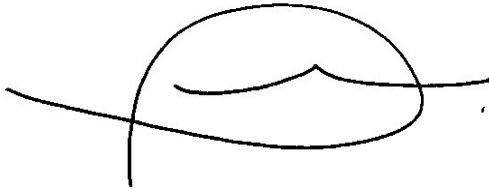


En consideración de lo anterior, en el Anexo 1 se presentan los resultados de laboratorio obtenidos a partir de los monitoreos realizados durante la operación de la RCHB para el río Tunjuelo.

Adicionalmente, es pertinente señalar que la información remitida por la Secretaría Distrital de Ambiente tiene limitaciones de uso, por lo cual debe ser responsable su adecuado manejo, teniendo en cuenta que el análisis que se realice de los datos y de la información entregada, deberá respetar el tema de derechos autor y citar la fuente para el fin destinado ya sea un documento técnico o publicación.

Por otra parte y considerando que para esta entidad resulta fundamental la articulación con diferentes actores de la comunidad que propendan la generación de información e incremento del conocimiento, tendiente al desarrollo de actividades de evaluación, control y seguimiento, encaminadas a la protección y conservación el medio ambiente en el área urbana del Distrito Capital, se solicita de manera cordial que los productos derivados del proyecto a desarrollar se remitan a esta Subdirección, por lo que estamos dispuestos a suministrar la información adicional que sea requerida.

Atentamente,



DIANA ANDREA CABRERA TIBAQUIRA
SUBDIRECCIÓN DE RECURSO HIDRICO Y DEL SUELO

Anexo 1. Resultados RCHB Río Tunjuelo

Revisó: David Felipe Pérez Serna

Proyectó: SINDY JOHANA HUERTAS BEJARANO

Anexo 2

Nota: * Los valores en color rojo corresponden a aquellos parámetros cuya concentración es inferior al Límite de Detección del Método

					Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
CODIG	NUM. A. ESTR.	ESTACIO	RIO/	FECH.	P_3	P_4	P_6	P_10	P_29
641	1335-09	TU-MakroS	TU-T3	15/12/2009	829,0000	7,18	593,4	167	0,006
643	1339-09	TU-MakroS	TU-T3	15/12/2009	396,0000	7,33	593,0	162	0,006
647	1341-09	TU-Tv86	TU-T4	15/12/2009	2815,0000	7,80	1115,8	282	0,345
649	1345-09	TU-Tv86	TU-T4	15/12/2009	3377,0000	7,73	1193,2	311	0,617
653	1353-09	TU-Ptelnde	TU-T4	16/12/2009	3259,0000	7,79	1251,2	299	0,423
655	1357-09	TU-Ptelnde	TU-T4	16/12/2009	3394,0000	7,57	1204,4	309	0,405
659	1302-09	TU-IsaPon	TU-T4	12/12/2009	3419,0000	7,56	1147,0	262	0,075
661	1306-09	TU-IsaPon	TU-T4	12/12/2009	7281,0000	7,62	1194,8	234	0,137
701	052-10	TU-MakroS	TU-T3	28/01/2010	1530,6667	7,46	744,4	262	0,006
709	056-10	TU-Tv86	TU-T4	29/01/2010	2647,0000	8,17	1531,2	452	1,15
710	060-10	TU-Ptelnde	TU-T4	30/01/2010	1770,0000	7,67	1592,6	346	0,71
711	068-10	TU-IsaPon	TU-T4	01/02/2010	5678,0000	7,19	1027,2	318	0,673
799	358-10	TU-MakroS	TU-T3	05/04/2010	624,0667	7,78	909,2	238	0,01
804	365-10	TU-Ptelnde	TU-T4	06/04/2010	2849,1902	8,27	1143,2	257	0,576
836	380-10	TU-Tv86	TU-T4	10/04/2010	4279,6088	7,59	1052,8	224	1,06
848	458-10	TU-IsaPon	TU-T4	29/04/2010	4629,0615	6,64	501,4	114	0,04
924	756-10	TU-MakroS	TU-T3	25/06/2010	3253,1799	7,54	-	42,7	0,006
925	751-10	TU-Tv86	TU-T4	24/06/2010	15323,4127	7,72	372,2	73,6	0,221
926	739-10	TU-Ptelnde	TU-T4	21/06/2010	6210,1038	7,07	268,0	59,4	0,042
927	766-10	TU-IsaPon	TU-T4	28/06/2010	4735,4338	7,31	364,4	96,7	0,039
1298	1064-10	TU-MakroS	TU-T3	28/08/2010	3923,7227	7,26	230,6	61	0,006
1302	1443-10	TU-MakroS	TU-T3	10/11/2010	6691,4364	7,94	240,8	65	0,014
1306	0149-11	TU-MakroS	TU-T3	15/02/2011	1222,2652	7,61	486,0	136	0,006
1308	0330-11	TU-MakroS	TU-T3	30/03/2011	3986,6080	6,82	247,6	62	0,006
1311	0634-11	TU-MakroS	TU-T3	17/05/2011	6701,9196	7,19	176,5	43	0,014

Nota: * Los valores en color rojo corresponden a aquellos parámetros cuya concentración es inferior al Límite de Detección del Método

					Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
CODIG	NUM. A. ESTR.	ESTACIO	RIO/	FECH.	P_3	P_4	P_6	P_10	P_29
1313	1068-10	TU-Tv86	TU-T4	30/08/2010	2779,7029	7,85	738,0	202	0,133
1316	1327-10	TU-Tv86	TU-T4	20/10/2010	2683,7335	8,77	821,0	195	0,644
1318	1562-10	TU-Tv86	TU-T4	24/11/2010	11496,7871	8,43	430,6	97	0,216
1321	0155-11	TU-Tv86	TU-T4	17/02/2011	3583,6877	7,87	688,0	192	0,464
1323	0272-11	TU-Tv86	TU-T4	17/03/2011	5683,6254	7,45	358,2	78	0,182
1327	931-10	TU-Ptelnde	TU-T4	11/08/2010	3288,4496	8,13	630,6	221	0,092
1328	1080-10	TU-Ptelnde	TU-T4	31/08/2010	3778,2701	8,07	1029,2	275	0,791
1332	1543-10	TU-Ptelnde	TU-T4	22/11/2010	12917,2455	7,45	296,3	84	0,019
1336	0184-11	TU-Ptelnde	TU-T4	25/02/2011	3449,1891	7,75	759,8	192	0,493
1339	0337-11	TU-Ptelnde	TU-T4	02/04/2011	5167,4898	8,00	877,2	175	0,013
1343	1078-10	TU-IsaPon	TU-T4	31/08/2010	3787,7033	8,14	1148,6	253	0,606
1345	1244-10	TU-IsaPon	TU-T4	04/10/2010	8078,9357	7,92	1061,0	295	0,091
1347	1428-10	TU-IsaPon	TU-T4	06/11/2010	4079,3391	8,13	1027,4	227	0,476
1351	0182-11	TU-IsaPon	TU-T4	24/02/2011	3242,3350	7,53	1348,0	285	1,486
1356	0672-11	TU-IsaPon	TU-T4	20/05/2011	14492,5601	7,72	417,4	85,3	0,237
1723	747-11	TU-MakroS	TU-T3	09/06/2011	11339,9452	7,15	159,0	46	0,008
1727	1044-11	TU-MakroS	TU-T3	05/08/2011	4691,1147	7,73	260,0	73	0,006
1732	1550-11	TU-MakroS	TU-T3	31/10/2011	3525,1762	7,42	220,3	60	0,006
1734	027-12	TU-MakroS	TU-T3	19/01/2012	1569,2333	7,45	475,0	148	0,007
1737	271-12	TU-MakroS	TU-T3	07/03/2012	1094,1510	7,59	597,2	176	0,007
1738	745-11	TU-Tv86	TU-T4	09/06/2011	13237,2418	7,21	272,8	59	0,152
1742	1046-11	TU-Tv86	TU-T4	05/08/2011	6019,3386	7,90	700,8	150	0,375
1747	1548-11	TU-Tv86	TU-T4	31/10/2011	6270,5169	8,57	655,0	174	0,432
1750	025-12	TU-Tv86	TU-T4	19/01/2012	2451,6919	8,22	985,8	290	0,209
1752	273-12	TU-Tv86	TU-T4	07/03/2012	1801,1026	8,86	1319,2	339	0,674
1753	752-11	TU-Ptelnde	TU-T4	10/06/2011	11960,8168	7,32	306,4	68	0,133
1756	1053-11	TU-Ptelnde	TU-T4	08/08/2011	5379,3562	7,84	576,8	157	0,122

Nota: * Los valores en color rojo corresponden a aquellos parámetros cuya concentración es inferior al Límite de Detección del Método					Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
1761	1593-11	TU-Ptelnde	TU-T4	09/11/2011	8034,0361	7,32	308,6	88	0,075
1763	036-12	TU-Ptelnde	TU-T4	21/01/2012	2735,4032	7,72	587,0	178	0,034
1765	233-12	TU-Ptelnde	TU-T4	01/03/2012	2114,8537	7,62	801,8	200	0,133
1768	750-11	TU-IsolaPon	TU-T4	10/06/2011	11321,5337	7,10	313,8	60	0,06
1771	1055-11	TU-IsolaPon	TU-T4	08/08/2011	7059,2462	7,72	825,8	221	0,034
1777	1601-11	TU-IsolaPon	TU-T4	09/11/2011	18324,7153	8,58	364,6	107	0,051
1780	038-12	TU-IsolaPon	TU-T4	21/01/2012	5062,4360	7,62	735,8	220	0,043
1782	231-12	TU-IsolaPon	TU-T4	13/03/2012	3770,5033	8,14	1277,8	303	0,342
2078	734-12	TU-MakroS	TU-T3	03/03/2012	7430,5461	7,08	119,7	23,6	0,007
2080	325-12	TU-MakroS	TU-T3	27/03/2012	2743,5340	7,25	281,8	82	0,007
2084	333-13	TU-MakroS	TU-T3	08/03/2013	361,3588	7,45	537,0	168	0,032
2090	805-12	TU-Tv86	TU-T4	05/03/2012	6562,8838	7,34	187,7	48	0,02
2092	323-12	TU-Tv86	TU-T4	28/03/2012	4436,1250	8,31	358,0	230	0,773
2096	344-13	TU-Tv86	TU-T4	13/03/2013	2667,8444	7,37	373,2	283	0,217
2102	803-12	TU-Ptelnde	TU-T4	06/03/2012	16026,3213	7,63	343,4	73	0,239
2103	338-12	TU-Ptelnde	TU-T4	01/10/2012	2747,1825	7,65	570,2	165	0,016
2108	352-13	TU-Ptelnde	TU-T4	13/03/2013	2566,8110	8,15	1477,0	367	2,15
2114	813-12	TU-IsolaPon	TU-T4	07/03/2012	11044,2263	7,66	407,0	32	0,28
2116	340-12	TU-IsolaPon	TU-T4	01/10/2012	3185,3443	7,55	777,6	231	0,126
2120	343-13	TU-IsolaPon	TU-T4	12/03/2013	3882,1574	7,33	1232,2	283	0,663
2274	1213-13	TU-MakroS	TU-T3	03/08/2013	7732,1516	7,36	125,2	23,6	0,032
2280	1232-13	TU-Tv86	TU-T4	12/08/2013	5334,2033	8,01	425,2	117	0,053
2286	1234-13	TU-Ptelnde	TU-T4	12/08/2013	5563,0400	8,14	417,6	119	0,032
2292	1253-13	TU-IsolaPon	TU-T4	15/08/2013	11336,7363	7,68	370,0	38,2	0,154
2366	33882	TU-Tv86	TU-T4	07/11/2014	2767,7762	7,62	302,4	252	1,03
2332	34644	TU-IsolaPon	TU-T4	13/11/2014	3365,7350	7,06	361,0	146	0,05
2400	34800	TU-MakroS	TU-T3	20/11/2014	4285,6575	7,15	243,6	74	0,1

Nota: * Los valores en color rojo corresponden a aquellos parámetros cuya concentración es inferior al Límite de Detección del Método					Caudal	pH	Conductividad	Alcalinidad	Cromo Total [Cr]
2437	35475	TU-Ptelnde	TU-T4	01/12/2014	2468,7300	7,70	640,4	208	3,24
2533	38888	TU-Ptelnde	TU-T4	23/01/2015	1308,5714	8,11	1334,0	312	2,04
2578	33473	TU-IsolaPon	TU-T4	13/02/2015	5196,7728	7,26	881,2	272	0,816
2612	100766	TU-MakroS	TU-T3	11/03/2015	206,8858	7,14	713,0	196	0,1
2634	101610	TU-Tv86	TU-T4	31/03/2015	3331,8350	7,66	1060,8	236	0,725
2676	133320	TU-Tv86	TU-T4	03/03/2015	2308,0000	8,26	314,8	308	0,64
2761	123472	TU-Ptelnde	TU-T4	25/03/2015	3141,6400	7,86	1023,6	340	0,034
2804	133313	TU-IsolaPon	TU-T4	03/10/2015	3258,2600	7,65	1121,8	238	0,034
2847	138535	TU-MakroS	TU-T3	14/10/2015	1122,4000	8,28	505,6	156	0,034
2913	1333-17 133677	TU-Tv86	TU-T4	25/05/2017	13205,4000	7,83	358,2	112	0,76
2935	2235-17 140033	TU-IsolaPon	TU-T4	07/06/2017	8568,2500	7,80	401,8	150	0,05
3032	1500-17 138603	TU-Ptelnde	TU-T4	28/04/2017	3716,8000	8,13	828,4	280	0,05
3033	1412-17 138486	TU-MakroS	TU-T3	25/04/2017	1115,8000	7,51	538,6	142	0,05
3066	662-18 - 152417	TU-IsolaPon	TU-T4	07/02/2018	4326,0000	7,35	1206,6	325	0,07
3072	683-18 - 152433	TU-MakroS	TU-T3	08/02/2018	333,8600	7,57	707,4	220	0,05
3078	437-18	TU-Tv86	TU-T4	23/01/2018	3045,0000	8,10	1261,6	440	0,17
3094	370-18 - 151873	TU-Ptelnde	TU-T4	22/01/2018	3533,4000	7,80	1113,2	300	0,22

Anexo 3



El ambiente
es de todos

Minambiente



Al contestar por favor cite estos datos

Radicado No.: 2019000003391

Fecha: 06-12-2019

Bogotá D.C.,

Doctor

Francisco Jose Cruz Prada

Secretario

Secretaría Distrital de ambiente

Av caracas No. 54 -38

Correo Electrónico: atencionalciudadano@ambientebogota.gov.co

Bogotá

Asunto: Remisión por competencia

Ref. Radicado Orfeo IDEAM N° 20190050097992 de fecha 26/11/2019

Cordial Saludo,

Atendiendo al contenido del oficio con radicado Orfeo IDEAM N° 20190050097992, el presente asunto no es competencia del Instituto, en consecuencia con el ánimo de garantizar el derecho fundamental de los usuarios a obtener respuesta a sus peticiones adjunto en un (1) folio documento que contiene el ítem petición concordante con la misión de su entidad.

Lo anterior en cumplimiento al artículo 21 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo (CPACA), modificado por el artículo 1º de la ley 1755 del 2015, cuyo texto menciona:

"Artículo 21. Funcionario sin competencia. Si la autoridad a quien se dirige la petición no es la competente, se informará de inmediato al interesado si este actúa verbalmente, o dentro de los cinco (5) días siguientes al de la recepción, si obra por escrito. Dentro del término señalado remitirá la petición al competente y enviará copia del oficio remitido al peticionario o en caso de no existir funcionario competente así se lo comunicará. Los términos para decidir o responder se contarán a partir del día siguiente a la recepción de la Petición por la autoridad competente".

Atentamente,


NELSON OMAR VARGAS MARTINEZ
Subdirector de Hidrología
PBX (571) 352 7160 Ext. 1500
Calle 25 D No. 96 B - 70 Bogotá D.C.



Bogotá, D.C. Colombia - San Andrés
Sede correspondencia
Calle 25 D No. 96 B - 70 Bogotá D.C. Código postal: 111991
PBX (571) 352 7160 Fax Servicio 3079641 - 1527100 (Op.)
Línea Recepción 1 800 711 022 - P. Medellín, Armenia, (011) 3521100
Sede Puerto Asís, Calle 12 No. 228 - 100 Bogotá D.C. PBX 3521100
www.ideam.gov.co